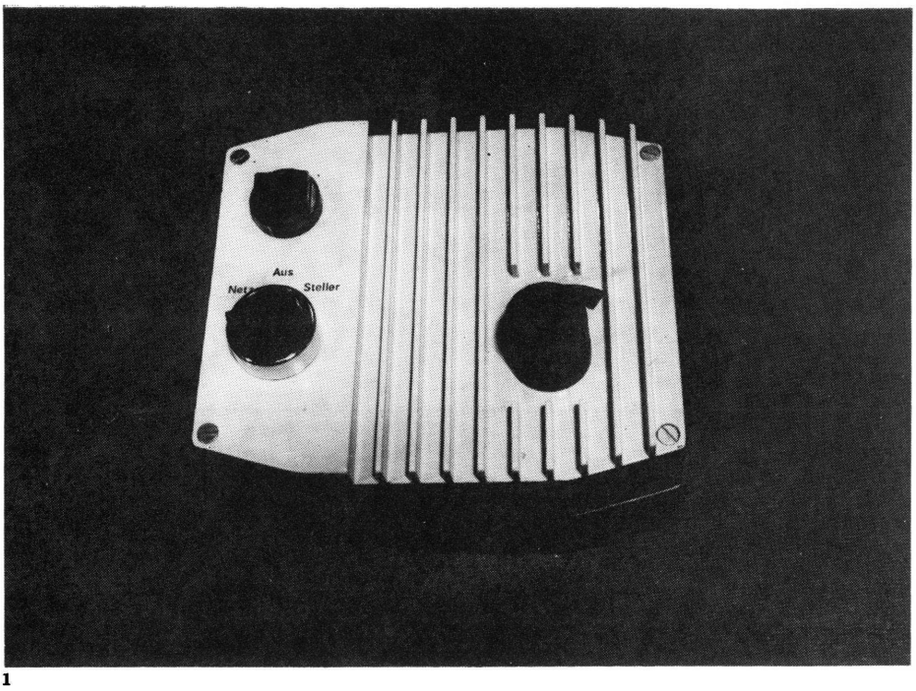
ELEKTRIE 2|85

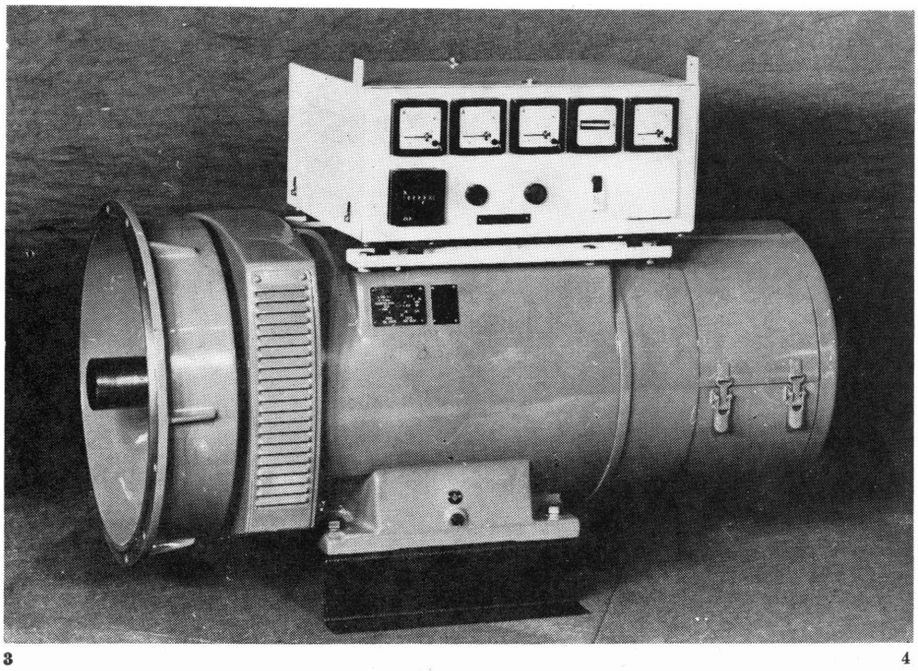
VEB VERLAG TECHNIK BERLIN · Postverlagsort für DDR Leipzig · EVP 2,50 Mark · ISSN 0013–5399

0120307

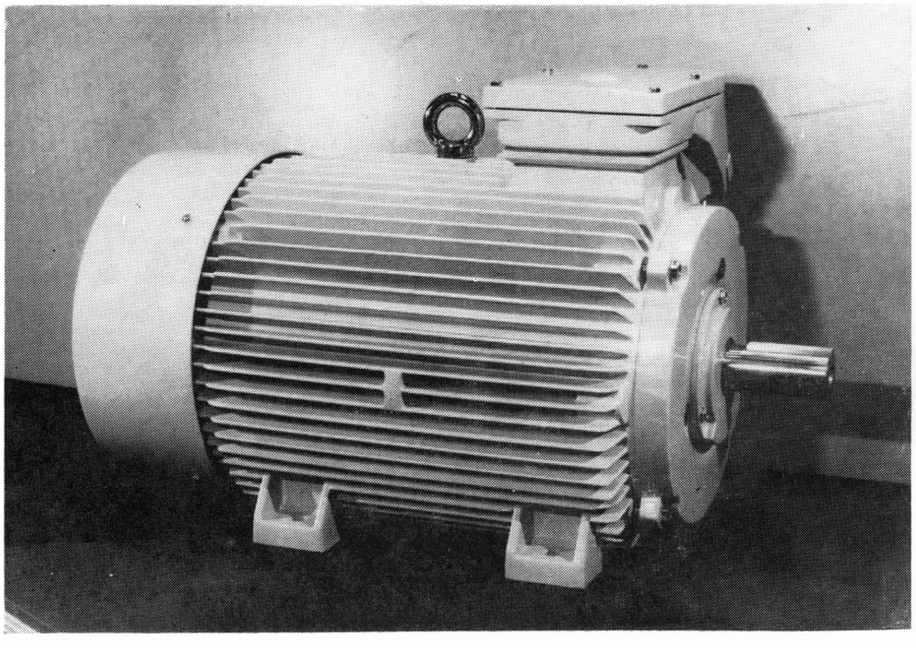


1

Ausgewählte Erzeugnisse des VEB Kombinat Elektromaschinenbau zur Leipziger Frühjahrsmesse 1985



3



4

Mehr dazu finden Sie in unserer Messevorschau auf Seite 68 in diesem Heft.

Bild 1. VEM-Wechselstromsteller, 220 V

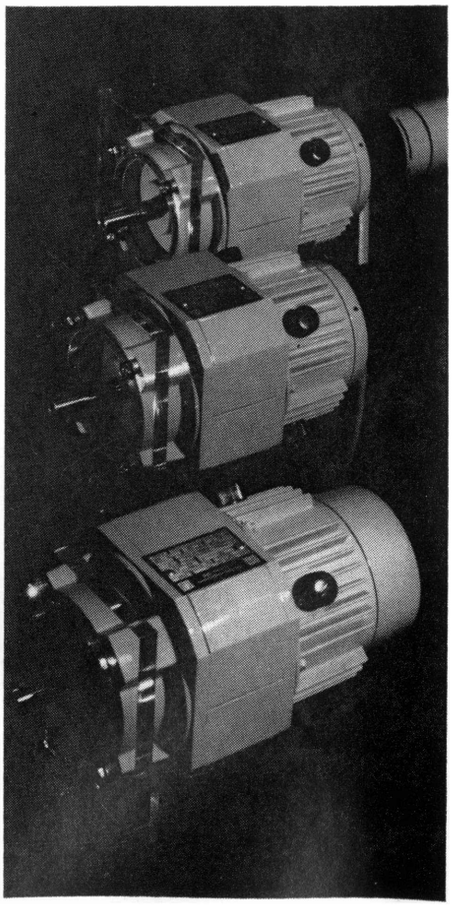
Bild 3. VEM-Synchrongenerator mit Steuergerät

Bild 4. VEM-Standard-Asynchronmotor KPR-315

Bild 6. Roboterspezifische Gleichstrommotoren der Reihe RSM

Fotos: Werkfoto

6



2|85 ELEKTRIE

39. Jahrgang

Wissenschaftlich-technische Zeitschrift der Elektrotechnik

ISSN 0013–5399

Organ des Fachverbands Elektrotechnik der Kammer der Technik

Die Zeitschrift erhielt die Silberne Plakette der KDT

Redaktionsbeirat

Vorsitzender:

Prof. Dr. sc. techn. J. Vogel

Mitglieder:

Prof. Dr. sc. techn. S. Altmann · Prof. Dr. sc. techn. H. Böhme · Prof. Dr. sc. techn. P.-K. Budig · Dr. sc. techn. G. Burkhard · Dr.-Ing. D. Flügge · Obering. K. Friedel · Dipl.-Ing. H. Kabisch · Prof. Dr.-Ing. habil. R. Lappe · Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. e.h. H.-J. Mau · Prof. Dr. phil. habil. G. Mierdel · Dr. rer. nat. K. Möbius · Prof. Dr. sc. techn. E. Muschick · Prof. Dr. sc. techn. V. Pfeiler · Prof. Dr.-Ing. e.h. K. Pommer · Prof. Dr.-Ing. habil. R. Schönfeld · Obering. Dipl.-Ing. N. Wass · Prof. Dr.-Ing. habil. G. Wunsch

Korrespondenten:

Dr.-Ing. K. Hanella, Ilmenau · Dr.-Ing. W. Jordan, Dresden · Dipl.-Ing. W. Knuth, Berlin

Titelbild

Die Anwendung von Drehstromstellern bei Pumpen-, Lüfter- oder Verdichterantrieben gestattet gegenüber herkömmlichen mechanischen Stellverfahren eine beachtliche Energie- und Materialeinsparung.
Unser Titelbild zeigt einen neuen Drehstromsteller-Antrieb aus dem VEB Kombinat Elektromaschinenbau, der aus dem Drehstromsteller DDSv 370/6 — G und einem VEM-Standardmotor mit einer Leistung von bis zu 3 kW besteht.
Mehr zum Thema Elektronische Stellglieder finden Sie in den ersten beiden Aufsätzen dieses Heftes sowie in der Messevorschau des Kombinats auf Seite 68.

Foto: Werkfoto

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

Träger des Ordens Banner der Arbeit

Aus dem Inhalt

Seite

Aktuelle Information 42

Reiche, H.
Optimale Prozeßanpassung durch kundengerechte Antriebssysteme 43

Persönliches 44

Fachaufsätze

Köppe, M.
Wechselstrom-Stellantrieb 45

Melzer, F.
Transistorumrichter zur Frequenzsteuerung von Drehstrom-Asynchronmaschinen 46

Reiche, H.
Zuverlässige elektrische Antriebe durch Kontrolle der Alterungsprozesse 50

Beer, F.; Keitel, J.; Wernecke, W.; Czinczoll, J.
Elektronischer Auslöser für Niederspannungs-Leistungsschalter mit neuer Lösung für das Selektivitätsproblem 54

Gegner, L.; Kühnel, M.
Kurze Staffelzeiten mit elektronischen Schutzrelais 57

Büchner, P.
Zustandssimulation mit Kleinrechnern — Möglichkeiten und Grenzen für die Antriebstechnik 60

Fischer, F.; Retzlaff, W.
Simulation von Schaltungen der Leistungselektronik mit Hilfe programmierbarer Kleinstrechner, Teil 2 64

Umschau

Erzeugnisse der Elektroindustrie der DDR — Vorschau zur Leipziger Frühjahrsmesse 1985 68

Zeitschriften 77

Bücher 78

AKTUELLE INFORMATION

Intensivierung im Elektroanlagenbau

— Neue Erkenntnisse aus Anlagengestaltung, Projektierung, Anlagenfertigung und -montage —

Wissenschaftliche Konferenz 1985 an der Technischen Hochschule Leipzig
Sektion Elektroenergieanlagen
Zeit: 12. bis 15. November 1985
Ort: Leipzig

Sektion 1

Perspektivische Anlagengestaltung

Leitung: Prof. Dr.-Ing. *Frischmann*

— Diskussion von Gestaltungslösungen perspektivischer Elektroenergieanlagen unter dem Aspekt einer verbesserten funktions-, fertigungs- und sicherheitsgerechten Gestaltung
— Ökonomischer Materialeinsatz und Senkung des spezifischen Energieverbrauchs als Zielgrößen bei der Entwicklung und Konstruktion elektrotechnischer Betriebsmittel

Sektion 2

Automatisierte Anlagenfertigung und Rationalisierung der Anlagenmontage

Leitung: Prof. Dr. sc. techn. *Mierke*

— Rationalisierung der industriellen Fertigung und der Baustellenmontage durch Prozeßautomatisierung und Verfahrensoptimierung in ausgewählten Bereichen
— Entwicklung rechnergestützter Systeme der technologischen Vorbereitung im Elektroenergieanlagenbau unter Berücksichtigung der Verbindungen zur Projektierung und Konstruktion

Sektion 3

Automatisierung der Projektierung und der Steuerung von Elektroenergiesystemen

Leitung: Prof. Dr.-Ing. habil. *Kloeppel*

— Methoden der Entwicklung und Gestaltung des rechnerunterstützten Projektierungsprozesses unter dem Aspekt der Durchgängigkeit der Prozesse der technischen Vorbereitung; Schwerpunkte der interdisziplinären Zusammenarbeit zwischen Projektierung und Informatik
— Entwicklung einheitlicher Gestaltungsprinzipien für Elektroenergieversorgungssysteme in Verbindung mit Engineeringanforderungen an den Elektroenergieanlagenbau
— Einsatz von Mikrorechnern zur Steuerung von Elektroenergieverteilungssystemen

Sektion 4

Verbindungs- und Anschlußtechnik

Leitung: Prof. Dr. sc. techn. *Beyer*

— Neue Erkenntnisse auf dem Gebiete des Übergangswiderstandes an ruhenden Kontakten unter dem Einfluß kombinierter Belastungen
— Erfahrungen bei der Entwicklung und Anwendung effektiver Anschluß- und Verbindungstechniken unter dem besonderen Aspekt der Substitution von Kupfer durch Al-Leitlegierungen und Verbundleiter
— Verfahrensentwicklung auf dem Gebiet des Verdrahtens und Verbindens einschließlich Möglichkeiten ihrer Automatisierung

Sektion 5

Zuverlässigkeit und Sicherheit elektrotechnischer Anlagen und Systeme

Leitung: Prof. Dr. sc. techn. *Altmann*

— Entwicklung und Anwendung effektiver Verfahren zur quantitativen Bewertung der Sicherheit und Zuverlässigkeit von Elektroenergieanlagen und -systemen sowie technologischer Prozesse
— Entwicklung neuer sicherheitstechnischer Mittel (Elektrosicherheit, Brandschutz)
— Beiträge zur sicherheitsgerechten Gestaltung perspektivischer Anlagen
— Erfahrungen über die praktische Zuverlässigkeitsarbeit sowie über die sicherheitstechnische Nachweisführung

Sektion 6

Ingenieurausbildung im Elektroanlagenbau

Leitung: Prof. Dr. sc. techn. *Altmann*
Prof. Dr. *Vinoslavski* (Kiewer Polytechnisches Institut)

— Schwerpunkte der Ausbildung von Hochschulkadern auf dem Gebiet der *Technologie* des Elektroenergieanlagenbaus — Anforderungen von Wissenschaft und Praxis
— Anforderungen und Gestaltung einer interdisziplinären Ausbildung von Diplomingenieuren für automatisierte Prozesse des Elektroenergieanlagenbaus auf den Gebieten Mikrorechentechnik, Robotertechnik und Informationsverarbeitung
— Aufgabenbereich der Weiterbildung — Schwerpunkte und Wege der Realisierung
— Einheit von Fach- und Gesellschaftswissenschaften

Sektion 7

Ökonomische und soziale Probleme der automatisierten Produktionsvorbereitung

Leitung: Prof. Dr. sc. oec. *Braß*

— Verkürzung des Zyklus Forschung — Entwicklung — Rationalisierung — Produktion — Absatz durch technologischen Fortschritt in der Produktionsvorbereitung
— Gemeinschaftsarbeit von Forschungs-, Entwicklungs- und Produktionskollektiven bei der Einführung und Beherrschung von CAD-CAM-Systemen
— Weltanschauliche Probleme der Automatisierung geistiger Arbeitsprozesse

Rundtischgespräche

Innerhalb der einzelnen Sektionen finden zu ausgewählten Schwerpunktthemen Rundtischgespräche statt, um die Möglichkeit eines vertieften Meinungsaustausches zu gewährleisten.
Die Konferenz wird gekoppelt mit einer praxisorientierten Ausstellung von Lehr- und Forschungsergebnissen aus den Gebieten

— Anlagengestaltung
— Projektierung, Fertigungsprozeßsteuerung und Anlagenmontage
— Elektrosicherheit (Spannungswarngeräte)
— Ingenieurausbildung

Träger der Konferenz sind neben der TH Leipzig der VEB Kombinat Elektroenergieanlagenbau und die Bezirksfachsektion Elektrotechnik/Elektronik der KDT Leipzig

Anfragen:

Technische Hochschule Leipzig
Sektion Elektroenergieanlagen
z. H. Prof. Dr. sc. techn. *Altmann*
7030 Leipzig
Karl-Liebknecht-Str. 132

S. Altmann, Leipzig EA 1769

Wissenschaftlich-technische Veranstaltungen zur Leipziger Frühjahrsmesse 1985

Der VEB Kombinat Nachrichtenelektronik beteiligt sich am wissenschaftlich-technischen Veranstaltungsprogramm der Leipziger Frühjahrsmesse mit folgenden aktuellen Themen:

Dienstag, 12. März 1985,
Messegelände Halle 7.11, Raum 6

9.30 Uhr — RFT-Nachrichtentechnik — Partner für wissenschaftlich-technische Leistungen, Lizenzen, Know-How, Schulung und Ausbildung

10.25 Uhr — RFT-Nachrichtentechnik — Partner für die Gestaltung, den Aufbau und die Erweiterung leistungsfähiger und zuverlässiger Kommunikationsnetze

11.20 Uhr — Zuverlässige elektronische Korrespondenz mit mikrorechnergesteuertem RFT-Fernschreiber

12.15 Uhr — Elektronische digitale RFT-Ortsvermittlungszentralen mit erweiterten Einsatzmöglichkeiten

13.10 Uhr — RFT-Übertragungssysteme zur digitalen Nachrichtenübertragung über NF-Leitungen, Lichtleiterkabel und Richtfunkeinrichtungen

14.05 Uhr — Meßgeräte und Baugruppen für Lichtleiterübertragungssysteme des VE Kombinat Prä-citronic

15.00 Uhr — RFT-Kurzwellen Funktechnik für den mobilen Einsatz zum Aufbau stabiler Nachrichtenverbindungen

15.55 Uhr — RFT-Ausrüstungen und Technologien für die Optimierung von Verkehrs- und Transportprozessen

16.50 Uhr — Anwendung und Einsatz von Schaltungsentwürfen des Systems integrierter Schaltungsanordnungen (ISA) in der Nachrichtentechnik

H. Mittank, Leipzig EA 1889

Optimale Prozeßanpassung durch kundengerechte Antriebssysteme

Von

Dr.-Ing. habil. Hans Reiche

Fachverband Elektrotechnik
der Kammer der Technik

Elektrische Antriebe sind die notwendige Voraussetzung zur Erhöhung der Arbeitsproduktivität in industriellen Prozessen. Die hohe Flexibilität und große Verfügbarkeit bei der Nutzung der elektrischen Energie führt dazu, daß der Bedarf elektrischer Antriebe noch immer zunimmt und andere Formen, wie Hydraulik- und Dampfantriebe, zurückgedrängt werden.

Das Grundelement des elektrischen Antriebes ist der Elektromotor. Der von Stückzahl und Gesamtumsatz her volkswirtschaftlich wichtigste Motor, der Drehstromasynchronmotor, ist genau 100 Jahre alt. Die Ausnutzung des für den Bau eingesetzten Materials, hauptsächlich Dynamostahl zur Führung des magnetischen Flusses sowie Kupfer zur Führung des elektrischen Stromes, wurde zwar ständig erhöht; aber trotzdem müssen wir heute feststellen, daß die relativ langsame Entwicklung der Eigenschaften der Grundmaterialien die Erhöhungsrate der Ausnutzung auf etwa 2% je Jahr beschränkt. Die großen Fortschritte bei der Entwicklung und Produktion elektrischer Maschinen können hauptsächlich nur durch die Erhöhung des Automatisierungs- und Mechanisierungsgrades bei der Herstellung erzielt werden. Die im internationalen Vergleich großen Stückzahlen von Elektromotoren, die im VEB Kombinat Elektromaschinenbau hergestellt werden, berechtigen ökonomisch zum Einsatz hochproduktiver, aber natürlich auch außerordentlich wertintensiver Produktionsausrüstungen.

Starke Entwicklungsimpulse geben Motoren, die als wesentliche Modifikationen des jeweiligen Wirkprinzips dem Anwendungszweck weitgehend entgegenkommen. Bedeutende Beispiele aus dem neuesten Sortiment des VEB Kombinat Elektromaschinenbau sind die roboterspezifischen (RSM-) Motoren und die Gleichstrommikromotoren, beide Stellmotoren als Vollzugsorgane dezentralisierter und deshalb vervielfältigter Steuer- und Regelelektronik.

Das Angebot einer breiten, effektiv fertigbaren und schnell und günstig modifizierbaren Elektromotorenpalette ist die eine wichtige Voraussetzung zur Lösung der vielfältigen Antriebsprobleme einer Volkswirtschaft. In zunehmendem Maße verlangt aber der Anwender elektrischer Antriebe für die bessere und verlustarme Anpassung an den Prozeß drehzahlvariabler Motoren und damit vor allem als relativ neues Antriebselement Frequenzumrichter für die Steuerung von Asynchronmotoren. Dieses Anwenderverhalten und das ständig gewachsene Energienutzungsbewußtsein gab den internationalen Elektromotorenherstellern starke Impulse für die eigene Produktion von Leistungselektronik. Die notwendige Folge war die international zu beobachtende Tendenz zum Angebot „kompletter Antriebe", also etwa zum Angebot des umrichtergesteuerten Asynchronmotors. Da es sich jedoch zeigte, daß der bloße Einsatz eines solchen drehzahlvariablen Antriebs wohl die vorherzusehenden Energieeinsparungen brachte, jedoch nahezu der doppelte Effekt erreichbar ist beim Einsatz einer Regelelektronik zur Einhaltung der gewünschten Prozeßparameter, eskalierte die Tendenz zu mehr Elektronik beim Antriebshersteller ziemlich rasch. Heute gibt es schon Elektromotorenhersteller, die einen großen Teil der Lösung des Antriebsproblems dem Anwender abnehmen.

Für die Antriebstechnik in der DDR bedeutet diese Tendenz eine weitere Intensivierung gemeinsamen Vorgehens der Hersteller von Antriebskomponenten bei der schnellen flexiblen Befriedigung der Anwenderbedürfnisse. Wichtige Leitmotive sind hierbei die Erhöhung der Energieökonomie und die maximale Nutzung der Mikroelektronik in der Antriebstechnik. Die Kammer der Technik wird hierbei im Rahmen ihres Initiativprogramms „Applikation Mikroelektronik" unterstützend wirken.

Die Nutzung der Mikroelektronik kann aber auch unmittelbar zur Erhöhung der Materialausnutzung der Motoren führen, wenn sie die Sicherung der Zuverlässigkeit mit übernimmt bzw. eine Materialüberdimensionierung zur Erhöhung der Zuverlässigkeit vermeidet. Das Gebiet der Zustandsüberwachung von Antrieben wird in Anbetracht der Tatsache, daß im Zuge weiterer Automatisierung der Wert der Antriebselemente im Verhältnis zum Wert des im laufenden Prozeß verarbeitenden Materials ständig abnimmt, eine ständig steigende Bedeutung gewinnen. Eine motorennahe Diagnosetechnik ist dabei eines der sichersten Mittel.

Berücksichtigt man die hohen Entwicklungstempi der Leistungs- und Mikroelektronik, so ist für die elektrische Antriebstechnik eine rasche Weiterentwicklung vorherzusagen. Dabei soll nicht das Anbieten immer neuer Erzeugnisprinzipien und Gerätekonzeptionen auf der Basis immer neuer Bauelementeprinzipien gemeint sein, als vielmehr die Umsetzung großer, für das Erreichen eines wissenschaftlich-technischen und ökonomischen Niveaus notwendiger Stückzahlen an Antriebskomponenten. Der Anwender- und Marktkenntnis kommt heute deshalb eine ökonomisch entscheidende Bedeutung zu.

EA 1884

PERSÖNLICHES

Professor Dr.-Ing. Walter Frischmann 65 Jahre

Am 18. Februar 1985 begeht Professor Dr.-Ing. *Walter Frischmann* seinen 65. Geburtstag. Seine berufliche Entwicklung ist eng mit der Entwicklung unseres Staates, der Entwicklung der Elektroindustrie und in den letzten 14 Jahren auch mit der des Hochschulwesens in der DDR verbunden. Vielen unserer Fachkollegen ist Professor Dr.-Ing. *Frischmann* durch sein außergewöhnliches Engagement für die Arbeit im Fachverband Elektrotechnik der Kammer der Technik zum Vorbild geworden.

Nach der Lehre als Elektromonteur (1945 bis 1946) und nach dem Besuch der Vorstudienanstalt (1946 bis 1947), der späteren Arbeiter-und-Bauern-Fakultät, studierte *Walter Frischmann* von 1947 bis 1951 an der Technischen Hochschule Dresden bei so hervorragenden Hochschullehrern wie Professor *Binder* und Professor *Barkhausen* Elektrotechnik.

Anschließend arbeitete er von 1951 bis 1956 als wissenschaftlicher Assistent und Oberassistent am Institut für Hochspannungstechnik bei Professor *Obenaus*. 1956 promovierte er mit einer Arbeit über den „Fremdschichtüberschlag" zum Dr.-Ing. Aus dieser Zeit liegen erste Veröffentlichungen vor.

So auf die Praxis vorbereitet, ging *Walter Frischmann* in das unter Leitung von Dipl.-Ing. *Schneider* neu gegründete „Institut Prüffeld für elektrische Hochleistungstechnik" (IPH).

Zunächst als Abteilungsleiter, später als Technischer Direktor, war er sowohl am weiteren Ausbau des Hochleistungsprüffeldes als auch an der Entwicklung einer neuen Generation von Mittel- und Hochspannungsschaltgeräten Anfang der sechziger Jahre maßgebend beteiligt.

Fast auf allen diesen Gebieten galt es, Neuland zu betreten. In den Veröffentlichungen und Vorträgen aus dieser Zeit wurden von *Walter Frischmann* wichtige Schlußfolgerungen für die Weiterentwicklung der Prüftechnik, der Prüfverfahren und zum Teil auch zur Weiterentwicklung der Geräte und Schaltanlagen gezogen. Für diese Arbeiten wurde *Walter Frischmann* mit dem Orden „Banner der Arbeit" ausgezeichnet.

1969 ging er als Hauptabteilungsleiter Forschung und Entwicklung in den VEB Starkstrom-Anlagenbau „Otto-Buchwitz", Dresden, und brachte seine Erfahrungen in die Entwicklung einer neuen Generation von metallgekapselten 12-kV-Schaltfeldern ein. Aus dieser Aufgabe heraus wurde *Walter Frischmann* nach 15jähriger Tätigkeit in der Elektroindustrie 1971 zum ordentlichen Professor für Betriebsmittel- und Anlagengestaltung an die Ingenieurhochschule Leipzig berufen.

Seit nunmehr fast 15 Jahren ist es ihm vergönnt, seine reichen Erfahrungen aus der Forschungs- und Prüffeldarbeit, die stets mit einem hohen Maß an Leitungstätigkeit verbunden war, an seine Studenten und den wissenschaftlichen Nachwuchs weiterzugeben. 15 erfolgreich abgeschlossene Promotionen unter seiner Betreuung an einer neu gegründeten Hochschule sprechen für sich.

Walter Frischmann hat wesentlichen Anteil am Aufbau und an der Entwicklung des wissenschaftlichen Profils der Sektion Elektroenergieanlagen der heutigen Technischen Hochschule Leipzig. Ob als Leiter seines Wissenschaftsbereiches, als Sektionsdirektor oder mit hohen Leitungsfunktionen in gesellschaftlichen Organisationen der Technischen Hochschule Leipzig betraut, hat er sich stets in der ihm eigenen ruhigen aber engagierten und zielstrebigen Weise erfolgreich für die Lösung der gestellten Aufgaben eingesetzt.

Im Jahre 1984 ist *Walter Frischmann* zum zweiten Mal mit dem Orden „Banner der Arbeit" geehrt worden.

Wichtiger Bestandteil der beruflichen Tätigkeit von Professor *Frischmann* ist seine Arbeit in und für den Fachverband Elektrotechnik der Kammer der Technik.

Seit 1953 Mitglied, von 1958 bis 1962 und seit 1966 ununterbrochen Vorsitzender des Fachunterausschusses 13.3 „Hochspannungsschaltgeräte und -anlagen" wurde in diesem FUA unter Leitung von *Walter Frischmann* über 3 Jahrzehnte hinweg eine bemerkenswert kontinuierliche und erfolgreiche Arbeit geleistet. Durch einen stets interessanten wissenschaftlichen Meinungsstreit gelang es allen Mitgliedern dieses FUA — der Berichterstatter gehört seit 1960 dazu — grundsätzliche Erkenntnisse bei der Gestaltung, Auslegung und Prüfung von Hochspannungsschaltgeräten und -schaltfeldern zu erarbeiten und diese in entsprechenden Standards festzulegen. Über die 100. Beratung dieses FUA wurde erst unlängst berichtet (ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 10, S. 364 und 394).

Walter Frischmann ist außerdem seit 1958 Mitglied des Vorstandes, war 1962 bis 1966 Vorsitzender des Fachverbandes Elektrotechnik und ist seit 1969 Vorsitzender der Wissenschaftlichen Sektion Elektroenergie-Übertragungs- und -Wandlungsanlagen (WS-EE). Professor *Walter Frischmann* wurde mit der Ehrennadel der KDT in Gold ausgezeichnet und ist seit 1965 Ehrenmitglied der KDT.

Diese sicherlich nicht vollständige Darstellung — zu erwähnen wäre z. B. noch die Mitarbeit an den Handbüchern Elektroenergieanlagen, Band Anlagenteile (jetzt in der 3. Auflage erschienen), seine Gastvorlesungen im Ausland usw. — kennzeichnet aber ausreichend Arbeitsprogramm und Arbeitspensum sowie die Ausstrahlung eines erfolgreichen Berufslebens.

Alle Fachkollegen und Freunde danken Professor Dr.-Ing. *Walter Frischmann* mit diesem Beitrag für die von ihm geleistete Arbeit und wünschen ihm für die nächsten Jahre viel Gesundheit und Freude an der Entwicklung seiner Schüler.

H. Ambrosch, Dresden EA 1885

Wir empfehlen

VEM-Handbuch Elektroenergieanlagen — Anlagenteile

Autorenkollektiv. Berlin: VEB Verlag Technik 1984. 3., stark bearbeitete Auflage. 507 Seiten, 378 Bilder, 135 Tafeln. Kunstleder 44,— Mark. Bestell-Nr. 553 0 638

Das VEM-Handbuch „Elektroenergieanlagen — Anlagenteile" berücksichtigt in der dritten, stark bearbeiteten Auflage den fortgeschrittenen Stand der Technik auf dem behandelten Gebiet. Das Autorenkollektiv setzt sich aus anerkannten Fachleuten aus Praxis und Lehre — redaktionelle Leitung Prof. Dr. sc. techn. *Volkmar Pfeiler* — zusammen. Ausgehend von den Anforderungen der Planung, Projektierung, Errichtung und des Betriebs werden die hauptsächlichen in Elektroenergieanlagen eingesetzten Anlagenteile beschrieben. Es sind u.a. enthalten Bauelemente, Baugruppen und Einrichtungen der Leistungselektronik, Schaltgeräte, Transformatoren, Drosseln und Motoren, Steuer- und Signalgeräte, Geräte und Einrichtungen der Meß-, Automatisierungs- und Relaisschutztechnik, Starkstromkabel und -Garnituren, Starkstrom- und Fernmeldeleitungen, Isolatoren, Isolierelemente und Armaturen. Generelle Kriterien für die Bearbeitung waren die internationale Spezialisierung und Kooperation innerhalb des RGW sowie eine stärkere Berücksichtigung internationaler Orientierungen gemäß IEC. Der Stoff ist vorzugsweise als Nachschlagewerk und Wissensspeicher aufbereitet worden. Das entspricht dem Anliegen von Herausgeber und Verlag, den in der Praxis tätigen Ingenieuren ein geeignetes Arbeitsmittel für die Bearbeitung ihrer Aufgaben in Entwicklung, Konstruktion, Produktion und beim Betrieb von Elektroenergieanlagen in die Hand zu geben.

Das Buch ist ein wertvolles Arbeitsmittel für den in der Praxis tätigen Ingenieur. Darüber hinaus ist es Studenten der Elektrotechnik an Hoch- und Fachschulen als Zusatzliteratur zu empfehlen.

Die Redaktion

Wechselstrom-Stellerantrieb

M. Köppe, KDT, Eggesin

1. Merkmale von Wechselstrom-Stellerantrieben

Die Kombination aus elektronischer Stelleinrichtung und elektrischem Antrieb, der Wechselstrom-Stellerantrieb, erfüllt die Forderung nach drehzahlstellbaren Antrieben bei Ausnutzung der Vorteile des Asynchronmotors mit Käfigläufer.
Hervorzuhebende Merkmale der Wechselstrom-Stellerantriebe sind:

- geringer Wartungsaufwand
- hoher Schutzgrad des Elektromotors sowie des Stellers
- gutes Masse-Leistungsverhältnis
- stufenlose Drehzahlstellung
- optimale Arbeitspunktanpassung.

Der Wechselstromsteller des VEB Elektromotorenwerk Eggesin ist für die verlustarme Spannungssteuerung von Einphasen-Asynchronmotoren mit Käfigläufer im Leistungsbereich bis 2 kW vorgesehen. Der mit modernen elektronischen Bauelementen ausgestattete Steller gestattet eine rationelle Lösung der verschiedenen Antriebsprobleme mit robusten Kurzschlußläufermotoren, wie z.B. Einphasenwechselstrommotoren mit Betriebskondensator und Einphasenwechselstrom-Außenläufermotoren mit Betriebskondensator. Darüber hinaus können auch Spaltpolmotoren und Einphasen-Kommutatormotoren mit dem Wechselstromsteller betrieben werden. Es ist sowohl Einzelantriebssteuerung als auch Gruppenantriebssteuerung möglich.
Wechselstromstellerantriebe eignen sich besonders für Antriebsmechanismen, deren Widerstandmoment sich quadratisch mit der Drehzahl ändert, wie z.B. bei Lüftern und Kreiselpumpen.

2. Einsatz von Wechselstrom-Stellerantrieben

An dieser Stelle soll hauptsächlich der Einphasenasynchronmotor als Lüfterantrieb in Verbindung mit dem Wechselstrom-Steller betrachtet werden (Bild 1). Wie aus Bild 1 zu ersehen ist, sinkt mit Absenken der Motorklemmenspannung auch das an der Antriebswelle abnehmbare Drehmoment. Das ist nur bei Lüftern und Kreiselpumpen unkritisch, weil zugleich die Fördermenge des zu transportierenden Mediums verringert wird.
Bei der Auswahl von Wechselstromstellerantrieben für konkrete Einsatzfälle ist der thermischen Belastung des Motors unbedingt Rechnung zu tragen. Eine Absenkung der Drehzahl ist immer mit einer Verringerung der Eigenbelüftung bzw. der Kühlung verbunden. Daher ist zur Dimensionierung des Stellerantriebs unbedingt die thermische Grenzkurve des Motors heranzuziehen. Im Bild 2 sind die prinzipiellen Verhältnisse dargestellt. Da die Ermittlung der Motordaten nach dem Worst-case-Prinzip erfolgen muß, ist eine gewisse Überdimensionierung des Antriebs unumgänglich.
Der Überdimensionierungsfaktor $K_{\ddot{U}}$ ergibt sich aus:

$$K_{\ddot{U}} = \frac{M_N}{M_L}.$$

Im folgenden soll auf die Verhältnisse bei anders gearteten Einsatzfällen hingewiesen werden, als es Lüfter und Kreiselpumpen sind. Es soll zunächst ein Arbeitsmechanismus mit konstantem Lastmoment angenommen werden (Bild 3).
Aus der Darstellung 3 ist erkennbar, daß der Überdimensionierungsfaktor $K_{\ddot{U}}$ gegenüber Bild 2 erheblich größer ist und damit ökonomische Gesichtspunkte den Einsatz von Wechselstrom-Stellerantrieben einschränken.
Ein weiterer wichtiger Gesichtspunkt bei der Motorauswahl ist die M-n-Kennlinie des Motors. Mit der Kennlinie wird die Stellbarkeit bzw. der Stellbereich eines Motors festgelegt. Ausgangspunkt für die Betrachtungen soll wieder der Einsatz als Lüfterantrieb sein.
Entscheidend für die Größe des Stellbereiches ist die Lage des Kippmomentes, da bei kleineren Drehzahlen kein stabiler Arbeitspunkt möglich ist (Bilder 4 und 5).
Beim Vergleich der Bilder 4 und 5 wird deutlich, daß eine Vergrößerung des Stellbereiches mit einer Verringerung des Nennmomentes verbunden ist (gleiche Motorbaugröße vorausgesetzt).

Dipl.-Ing. *Matthias Köppe* ist Entwicklungsingenieur im VEB Elektromotorenwerk Eggesin.

Bild 1
Prinzipielle Kennlinienverläufe des Einphasenmotors mit Betriebskondensator bei veränderter Ständerspannung U
U_N Netzspannung
M Moment
M_N Nennmoment
n Drehzahl
n_s synchrone Drehzahl

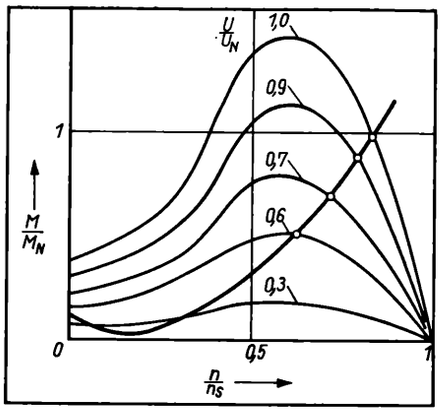


Bild 2
1 thermische Grenzkurve des Motors; 2 Kennlinie eines einsetzbaren Lüfters
M_L Lastmoment
n_N Nenndrehzahl

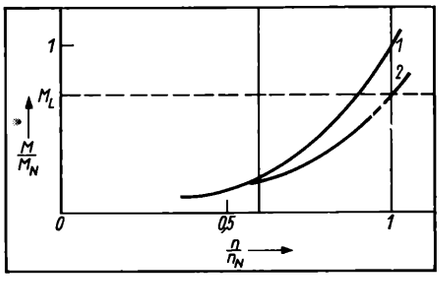


Bild 3
1 thermische Grenzkurve des Motors; 2 Lastmomentverlauf

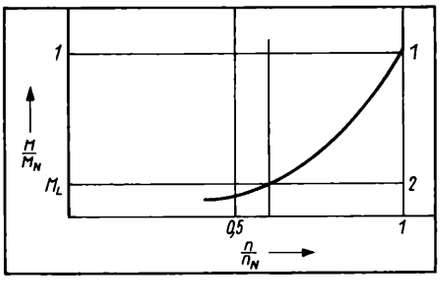


Bild 4
1 Lüfterkennlinie; 2–5 Motorkennlinie bei unterschiedlichen Ausgangsspannungen des Stellers
n_L Leerlaufdrehzahl
Δn möglicher Stellbereich

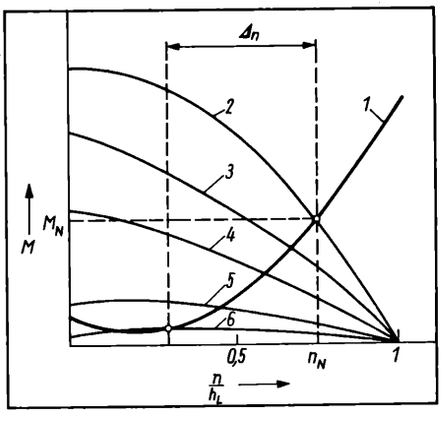
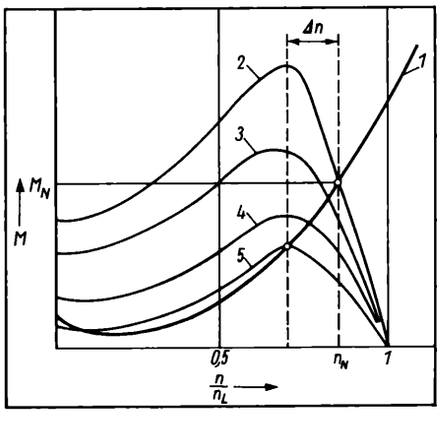


Bild 5
1 Lüfterkennlinie; 2–5 Motorkennlinie bei unterschiedlichen Ausgangsspannungen des Stellers
n_L Leerlaufdrehzahl
Δn möglicher Stellbereich



3. Aufbau und Funktion des Wechselstromstellers E 220

Kernstück der Schaltung ist der Ansteuerschaltkreis U 708 D. Der Wechselstromsteller beinhaltet folgende Funktionen:

1. Netzteil
2. Spannungsüberwachung
3. Anlaufschaltung
4. Sägezahnbildung mit Sollwertvorgabe
5. Impulsbildung und -ausgabe
6. Nullstromerfassung
7. Funkentstörung

3.1. Netzteil

Die beiden Betriebsspannungen $\pm$ 13 V werden mit Z-Dioden stabilisiert. Aufgrund des geringen Stromverbrauches der Schaltung sturde die Netzspannung über einen Widerstand abgegriffen.

3.2. Spannungsüberwachung

Um eine unkontrollierte Ansteuerung des Triacs zu vermeiden, wurde eine Schaltung zur Betriebsspannungsüberwachung eingeführt, welche die Impulsausgabe bei Unterspannung blockiert. Das macht sich beim Einschalten durch eine verzögerte Zuschaltung der Ausgangsspannung bemerkbar.

3.3. Anlaufschaltung

Zur Erreichung eines stabilen Arbeitspunktes muß gesichert werden, daß der Lüfter mit voller Netzspannung anläuft. Die Anlaufschaltung realisiert den Hochlauf des Ventilators bei voller Netzspannung. Nach etwa 4 s wird auf den eingestellten Sollwert umgeschaltet.

3.4. Sägezahnbildung mit Sollwertvorgabe

Die Sägezahnbildung erfolgt über ein R-C-Glied und wird vom IS U 708 D mit der Netzspannung synchronisiert. Bei der Sollwerteinstellung wird die Amplitude der Sägezahnspannung verändert.

3.5. Impulsbildung und Ausgabe

Im IS U 708 D werden die Zündimpulse gebildet, deren Breite extern eingestellt wird. Die Ausgabe erfolgt über zwei Ausgänge, wobei die Impulsfolgen eine Phasenverschiebung von 180° aufweisen. Da im WSS ein Triac eingesetzt wird (es wären auch zwei antiparallel geschaltete Thyristoren denkbar), werden die Ausgänge zusammengeschaltet.

3.6. Nullstromerfassung

Beim Betreiben induktiver Lasten wird es notwendig, die Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung und damit den Nulldurchgang des Stromes zu erfassen.
Dem IS U 708 D wird über diese Schaltung der frühestmögliche Zündzeitpunkt signalisiert.

3.7. Funkentstörung

Laut TGL 20885/13 muß der Wechselstromsteller einen Funkentstörgrad F 1/12 besitzen. Dies wird durch eine LC-Kombination erreicht.
Die technischen Angaben zum Wechselstromsteller entsprechend TGL 55023 können Tafel 1 entnommen werden.
Die Auswahl der entsprechenden Type richtet sich nach dem Nennstrom des Motors.
Es ist jedoch möglich, daß bei Drehzahlabsenkung eine Stromüberhöhung durch den Motor auftritt, die bei der Stellerauswahl ebenfalls berücksichtigt werden muß. EA 5543

Transistorumrichter zur Frequenzsteuerung von Drehstrom-Asynchronmotoren

F. Melzer, KDT, Dresden

Frequenzumrichter für hohe Leistungen sind mit Thyristoren ausgestattet, während der untere Leistungsbereich vom Transistorumrichter beherrscht wird. Für bestimmte Antriebsfälle, bei denen bereits eine Spannungsänderung zur gewünschten Drehzahlverstellung führt, hat sich der weniger aufwendige Drehstromsteller als wirtschaftliche Lösung erwiesen.
Der frequenzgestellte Drehstromantrieb hat sich bei den Anwendern auf Grund folgender Effekte durchgesetzt:

- Energieeinsparung bis zu durchschnittlich 30% bei Pumpen-, Lüfter- und Gebläseantrieben
- Optimale Anpassung der Arbeitsgeschwindigkeit von Maschinen und Anlagen entsprechend den Erfordernissen des technologischen Prozesses
- Automatisierung von technologischen Prozessen
- Drehzahlstellung unter extremen Umgebungsbedingungen
- Geräuschsenkung bei kleinen Arbeitsdrehzahlen
- Neue konstruktive Möglichkeiten durch Frequenzen über 50 Hz
- Materialeinsparung durch Wegfall mechanischer Stellelemente bzw. mehrerer Antriebe mit gestaffelten konstanten Arbeitsdrehzahlen
- Erhöhung der Anlagenlebensdauer durch geringere dynamische und statische Beanspruchungen
- Projektierte Zuverlässigkeit des elektronischen Stellgliedes.

In [1] [2] wurden die vom VEM-Elektromaschinenbau angebotenen Drehstromantriebe bereits vorgestellt.
Im folgenden soll der im Direktionsbereich Forschung und Entwicklung des VEB Elektromaschinenbau Dresden entwickelte und für den unmittelbaren Anschluß an das Einphasennetz vorgesehene Transistorumrichter für Drehstromantriebe (Bild 1) näher betrachtet werden.
Von größter Bedeutung für den Anwender ist, daß Umrichter und Motor, der komplette Antrieb also in einem Betrieb, im VEB Elektromotorenwerke Thurm hergestellt wird. Das bietet auch die Gewähr für eine Berücksichtigung von Einsatzerfahrungen und Kundenwünschen.

1. Beschreibung des Transistorumrichters

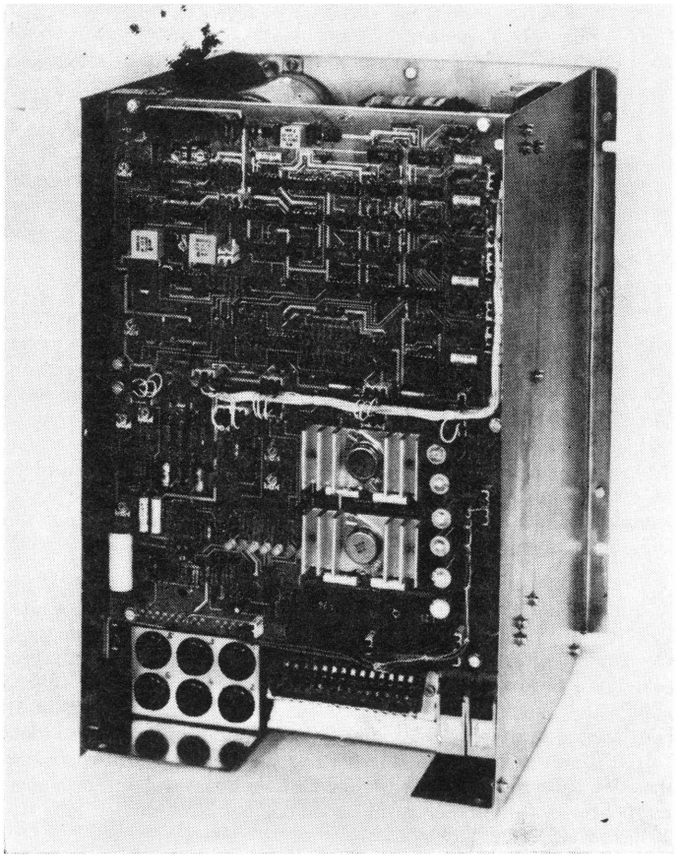
Entsprechend dem physikalischen Funktionsprinzip der asynchronen Drehfeldmaschine ergibt sich bei Änderung der Frequenz der Speisespannung eine Parallelverschiebung der Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie (Bild 2) ähnlich wie bei der Spannungs- und Feldstellung des Gleichstrom-Nebenschlußmotors.

Dr.-Ing. *Frank Melzer* ist Gruppenleiter für Leistungselektronik im Direktionsbereich Forschung und Entwicklung des VEB Elektromaschinenbau Dresden.

Tafel 1. Technische Bedingungen des Wechselstromstellers

Benennung		Bedingungen		
		E220E220/2,5 Me	E220E220/6,3 Me	E220E220/10 Me
Nennanschlußspannung			220 V $^{+\ 10\ \%}_{-\ 15\ \%}$ Wechselspannung	
Nennfrequenz			50 Hz $\pm$ 5 %	
Ausgangsspannung[1])			20 V bis 220 V Wechselspannung	
Nennwert des Ausgangsstromes	max.	2,5 A	6,3 A	10 A
	min.	240 mA	240 mA	500 mA
Betriebsmittel nach TGL 200-0600			ortsfest	
Funkentstörung nach TGL 20885/13			Funkentstörungsgrad F1/12	
Kriech- und Luftstrecken nach TGL 16559			Gruppe 5 für Leistungsteil Gruppe 3 für Informationsteil	
Einsatzklasse nach TGL 9200/03			0/+ 40/+ 20/85/4101	
Betriebsart nach TGL 200-0608/28			S1	
Schutzgrad nach TGL RGW 778			IP 54	
Schutzklasse nach TGL 21366			I	
Masse			2,0 kg	

[1]) Die volle Nutzung des Ausgangsspannungsbereiches hängt weitgehend von der an den Steller angeschlossenen Last ab.



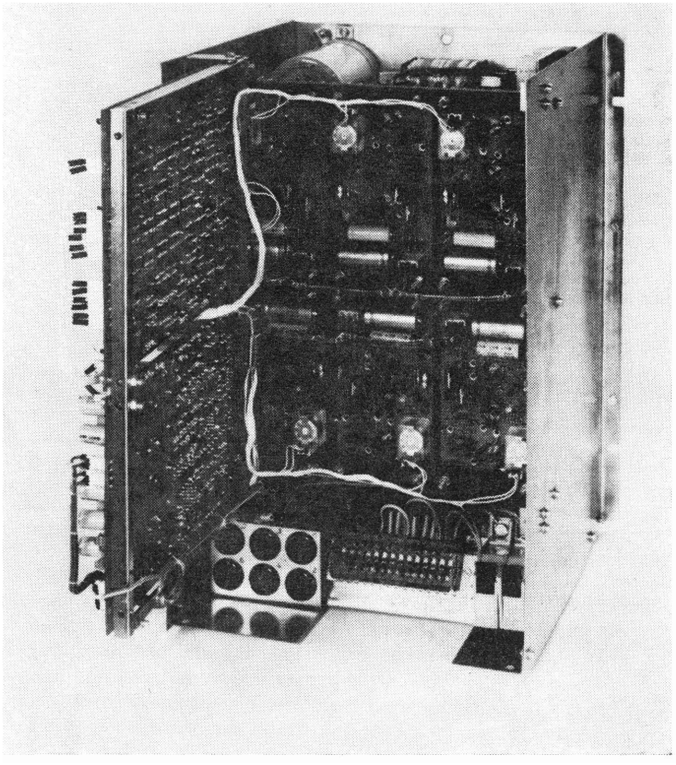


Bild 1. Transistorumrichter 3 kVA in Einbauausführung

Die erforderliche Umformung der konstanten Netzparameter Spannung und Frequenz in ein frequenz- und spannungsvariables Drehstromsystem wird mit dem Transistorumrichter, bestehend aus dem Leistungs- und Informationsteil, verwirklicht.

Der Leistungsteil des Transistorumrichters besteht aus den Hauptfunktionseinheiten Gleichrichter, Gleichspannungszwischenkreis und Wechselrichter (Bild 3). Der Gleichrichter besitzt einen einphasigen Netzeingang für 220 V. Dieser wesentliche Vorzug ermöglicht den universellen Einsatz des Transistorumrichters in allen Bereichen der Industrie und des Haushalts. Durch die ungesteuerte Ausführung des Gleichrichters belastet der Umrichter das Netz ausschließlich mit Wirkstrom. Damit ist der Leistungsfaktor im gesamten Frequenzstellbereich ungefähr 1 und damit sogar besser als bei direkter Netzspeisung des Drehstrom-Asynchronmotors. Kompensationseinrichtungen entfallen beim Einsatz des Umrichters.

Der Gleichspannungszwischenkreis ist der Energiepuffer des Umrichters und erzeugt eine in ihrer Höhe von der Netzspannung abhängige geglättete Gleichspannung. Auch der notwendige Blindstrombedarf des Drehstrom-Asynchronmotors wird ebenfalls von diesem Zwischenkreis gedeckt. Sinkt die im Informationsteil des Umrichters erzeugte Drehfeldfrequenz unter die Läuferfrequenz der Drehstrom-Asynchronmaschine, so geht die Asynchronmaschine vom motorischen in den generatorischen Betrieb über. Hierbei wird mechanische in elektrische Energie umgesetzt. Dies geschieht im Gleichspannungszwischenkreis, wobei sich dessen Spannung erhöht.

Beim Überschreiten eines Grenzwertes sorgt der vorhandene Bremschopper in Zusammenwirken mit einem externen Bremswiderstand für die erforderliche Energieumsetzung. Der Drehstrom-Asynchronmotor wird gebremst.

Der Wechselrichter besteht aus 6 Transistorleistungsschaltern mit antiparallelen Blindstromdioden. Diese sind im Bild 1 bei herausgeschwenktem Informationsteil zu sehen. Der Informationsteil gibt das für die Erzeugung des frequenz- und spannungsvariablen Drehstromsystems erforderliche Arbeitsregime der 6 Leistungsschalter vor. Um das Kippmoment über einen weiten Frequenzbereich konstant zu halten, wird das Spannungs-Frequenz-Verhältnis U/f durch den Informationsteil geführt. Die Ausgangsspannungsveränderung geschieht dabei durch Pulsung der Ausgangsspannung im Wechselrichter. Netzspannungsschwankungen, die sich in der Höhe der Zwischenkreisspannung widerspiegeln, werden entsprechend der zur Verfügung stehenden Zwischenkreisspannungsreserve intern ausgeregelt. Bild 4 zeigt die typischen zeitlichen Verläufe von verketteter Ausgangsspannung und Ausgangsstrom. Bei Netzfrequenz $f_N = 50$ Hz erreicht die Ausgangsspannung den Wert der Nennspannung. Darüber hinaus kann die Ausgangsspannung nicht mehr erhöht werden. Für $f > f_N$ ergibt sich deshalb der in Bild 2 dargestellte Kippmomentrückgang.

Der Informationsteil besteht aus den Funktionseinheiten Steuereinrichtung, Schutzeinrichtung und Stromversorgung, die auf den beiden Leiterplatten an der Gerätefrontseite untergebracht sind (Bild 1).

Bild 3. Prinzipschaltbild vom Leistungsteil des Transistorumrichters

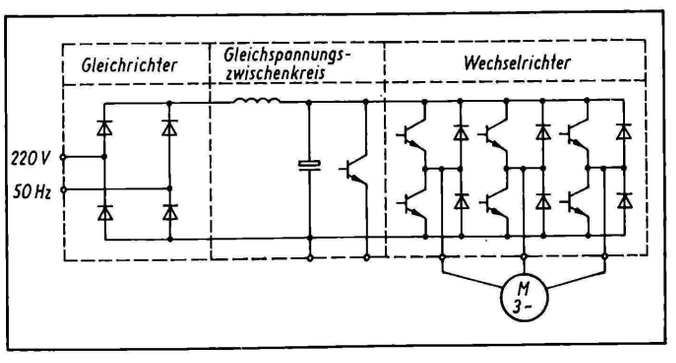
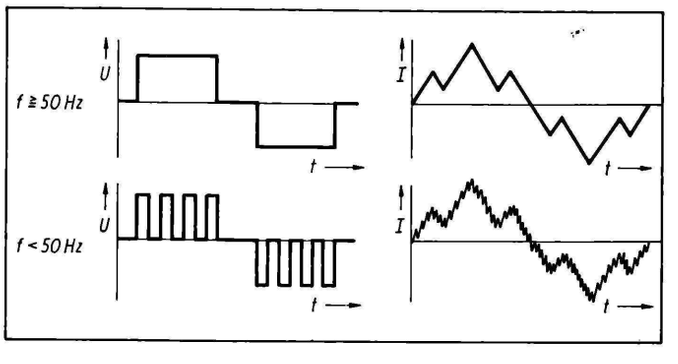


Bild 4. Verkettete Ausgangsspannung und Ausgangsstrom des Transistorumrichters bei Motorlast



Tafel 1. Typenbezeichnungen und Modifikationen

Typenbezeichnung	Modifikationen			
	ohne Bedienelemente	mit Bedienelementen	ohne Bremschopper	mit Bremschopper
EDU 210/8 – E 00	×		×	
EDU 210/8 – E 01	×			×
EDU 210/8 – G 00	×		×	
EDU 210/8 – G 01	×			×
EDU 210/8 – G 10		×	×	
EDU 210/8 – G 11		×		×

EDU 210/8 – ___

Art der Eingangsspannung E ≙ Einphasen-Wechselspannung	nach obiger Tafel
Art der Ausgangsspannung D ≙ Dreiphasen-Wechselspannung	Ausführung E ≙ Einbau G ≙ Gehäuse
Art der Betriebsweise des Stromrichters U ≙ Umrichter	
Nennwert der Ausgangsspannungen in V	Nennwert des Ausgangsstromes in A

Bestellbezeichnung:

Transistorumrichter EDU 210/8 – ___ TGL 55020

Tafel 2. Technische Kennwerte

Nennanschlußspannung	220 V einphasig, vorzugsweise 1 PEN
zulässige Toleranz der Nennanschlußspannung	– 15 %, + 10 %
Nennfrequenz der Anschlußspannung	50 Hz
zulässige Toleranz der Nennfrequenz der Anschlußspannung	± 1 %
Nennwert der Ausgangsspannung	210 V
Stellbereich der Ausgangsspannung	3 × 22 ··· 210 V
Nennwert des Ausgangsstromes	8 A
Stellbereich der Frequenz der Ausgangsspannung	5 ··· 100 Hz
zulässige Toleranz der Frequenz der Ausgangsspannung	± 1 %
maximale Ausgangsleistung	3 kVA
maximale Bremsleistung	3 kW
Nennleistungsbereich der betreibbaren Drehstrom-Asynchronmotoren	bis 1,5 kW
Schutzklasse	I
Schutzgrad	Ausführung E IP00 Ausführung G IP43
Einsatzklasse	Ausführung E + 5/+ 45/20/80//1001 Ausführung G + 5/+ 45/20/80//3001
Hauptabmessungen (H + B + T) in mm	Ausführung E 405 × 260 × 280 Ausführung G 510 × 360 × 320
Grenzwert für Funkstörungen	F1/12 und F3/12 nach TGL 20885/12
Einstellung der Frequenz der Ausgangsspannung	• über Potentiometer und interne Sollwertquelle • externe Steuerspannung ± 10 V • externe Stromquelle ± 20 mA

Der Transistorumrichter kann mehrere Drehstrom-Asynchronmotoren speisen, sofern die Summe der Anschlußleistungen der einzelnen Motoren die Geräteausgangsleistung nicht übersteigt. Drehstrommotoren mit 220 V/380 V-Wicklung werden in Dreiecksschaltung an den Transistorumrichter angeschlossen.

Der Transistorumrichter ist für den Anschluß an eine übergeordnete Automatisierungseinrichtung vorbereitet.

Tafel 1 zeigt die Typenbezeichnung des Transistorumrichters und die lieferbaren Modifikationen. In Tafel 2 sind die technischen Hauptkennwerte des Transistorumrichters zusammengestellt.

2. Anwendungsmerkmale des Transistorumrichters

Der Transistorumrichter besitzt eine Vielzahl schaltungstechnischer Vorzüge, die zur Automatisierung von technologischen Prozessen bzw. zur optimalen Prozeßanpassung an technologische Erfordernisse benötigt werden:

— Sollwertvorgabe für Ausgangsfrequenz

Die Frequenz und die Drehfeldrichtung können am Umrichter manuell vorgegeben werden. Ebenso ist die Sollwertvorgabe durch externe Einheitssignale $0 \cdots \pm 10$ V oder $0 \cdots \pm 20$ mA möglich. Die Maximalwerte der Einheitssignale entsprechen der oberen Stellbereichsgrenze der Ausgangsfrequenz. Diese Steuergrößen können von einer übergeordneten Automatisierungsanlage oder einer beliebigen Steuereinrichtung des Anwenders bereitgestellt werden, da die Sollwerteingänge des Transistorumrichters frei von Netzpotential sind. Die Polarität der Einheitssignale bestimmt die Drehfeldrichtung.

— Einstellbare Änderungsgeschwindigkeit der Ausgangsfrequenz

In Abhängigkeit vom Trägheitsmoment des Gesamtantriebes oder von entsprechenden Forderungen des Anwenders ist es möglich, die Änderungsgeschwindigkeit df/dt der Ausgangsfrequenz einzustellen. Sprunghafte Änderungen der Steuerspannung führen damit nicht zu Frequenzsprüngen am Umrichterausgang (Bild 5). Die längste erreichbare Hochlaufzeit beträgt etwa 15 Sekunden. Durch die grundsätzliche Begrenzung der Änderungsgeschwindigkeit der Ausgangsfrequenz ist der Einschaltstrom des Drehstrom-Asynchronmotors immer geringer als der bei direkter Speisung des Motors vom Netz.

— Stopp-Eingang

Ein Ansteuern dieses Eingangs mit mechanischem Kontakt oder definiertem Spannungssignal bewirkt ein Stoppen des Motors, ohne den vorgegebenen Frequenzsollwert zu verändern. Nach der Freigabe dieses Eingangs stellt sich die zuvor gewählte Ausgangsfrequenz und Drehrichtung wieder ein. Diese Brems- und Beschleunigungsvorgänge erfolgen auch mit der eingestellten Änderungsgeschwindigkeit der Frequenz (Bild 6). Bei Benutzung nur einer Drehfeldrichtung besteht die Möglichkeit, die Änderungsgeschwindigkeit für den Beschleunigungs- und Bremsvorgang unterschiedlich einzustellen.

— Reversieren

Wird durch manuelle Betätigung des Drehrichtungsvorwahlschalters oder durch Polaritätswechsel des Einheitssignals die andere Drehrichtung angewählt, so wird der Drehstrommotor bis auf f_{min} abgebremst. Nach Reversieren der Drehrichtung läuft der Motor mit einer dem eingestellten Frequenzsollwert entsprechenden Drehzahl (Bild 7).

Die Drehrichtungsumkehr erfolgt vollelektronisch. Ein Phasentausch der Motoranschlüsse ist nicht erforderlich.

— Ausgangsstrombegrenzung

Die Ausgangsströme der drei Stränge werden gemessen und auf einen einstellbaren Maximalwert begrenzt. Bei Erreichen der Stromgrenze wenigstens eines Strangstromes wird ein Digitalsignal

Bild 2. Drehmoment des frequenzgesteuerten Drehstrom-Asynchronmotors

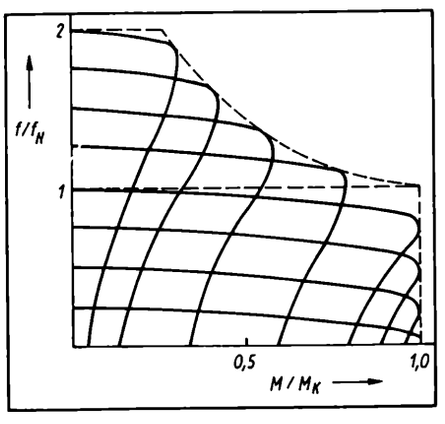


Bild 5. Ausgangsfrequenzänderung bei sprunghafter Änderung der Einheitssignale als Steuergröße

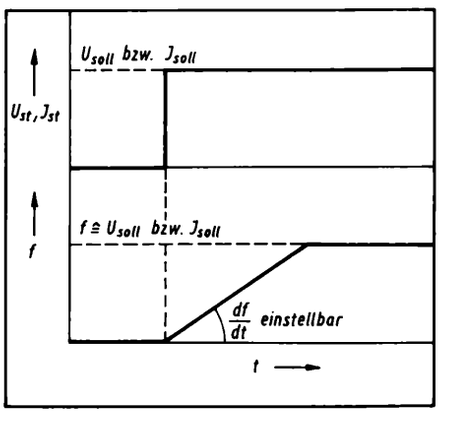
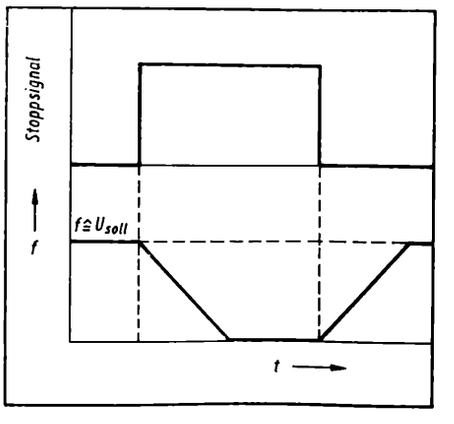


Bild 6. Ausgangsfrequenzänderung bei Stopp-Signal



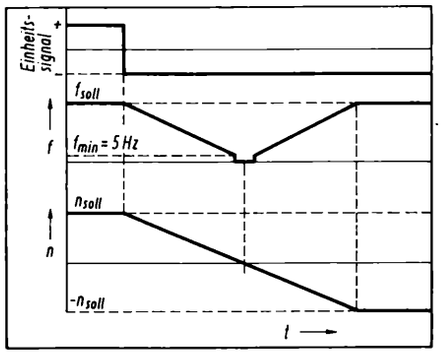


Bild 7. Reversiervorgang ▲

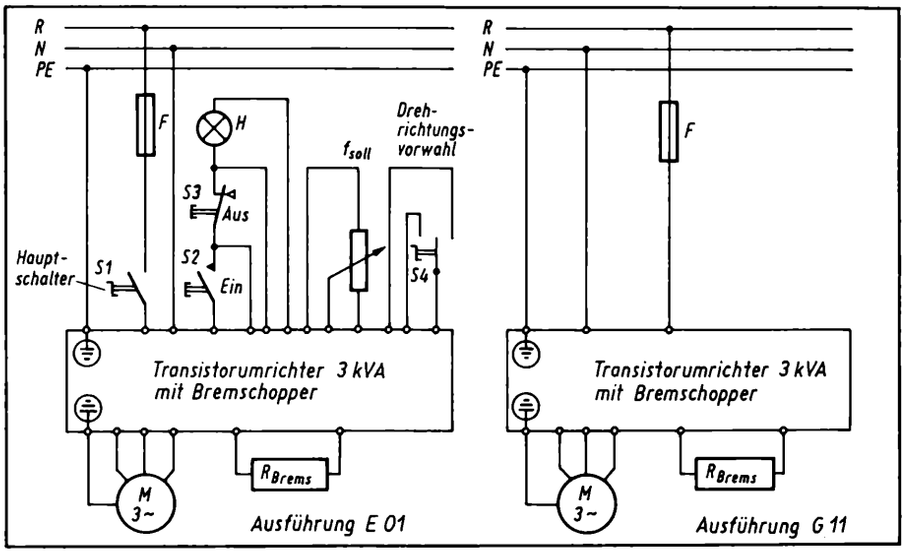


Bild 9. Anschlußbilder des Transistorumrichters in den Ausführungen E 01 und G 11 ▶

ausgegeben, das vom Anwender genutzt werden kann. Die Begrenzung des Ausgangsstromes erfolgt durch Spannungsverminderung.

— Ist-Frequenz-Ausgang

An diesem Ausgang kann ein frequenzanaloges Signal, das der 6fachen Ausgangsfrequenz des Umrichters proportional ist, entnommen werden. Der Ausgang ist potentialfrei.

— Spannungs-Frequenz-Zuordnung U/f

Bild 8 zeigt den funktionellen Zusammenhang von Ausgangsfrequenz und Ausgangsspannung des Transistorumrichters. Die *U/f*-Zuordnung ist hierbei so eingestellt, daß bei 50 Hz eine Ausgangsspannung von 210 V erreicht wird. Die *U/f*-Zuordnung kann aber vom Anwender so verändert werden, daß die 210-V-Ausgangsspannung bei 87 Hz erreicht wird. In diesem Fall kann an den Umrichter unter Beachtung der Umrichterausgangsleistung ein Drehstrommotor mit einer 127 V/220-V-Wicklung in Dreiecksschaltung angeschlossen werden. Der bereits erwähnte Rückgang des Kippmomentes setzt hier erst oberhalb 87 Hz ein. Um den Einfluß des ohmschen Ständerwiderstandes auf die Konstanz des Kippmoments im unteren Frequenzbereich $f < 20$ Hz zu eliminieren, den Forderungen nach bestimmten Anlaufdrehmomenten nachkommen zu können und um den Wirkungsgrad des Antriebes je nach Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie der Belastungsmaschine zu optimieren, wird die *U/f*-Zuordnung durch 2 Geraden erzeugt. Der Anfangspunkt U_0 und die Neigungswinkel dU/df der Geraden können vom Anwender eingestellt werden.

— Schutzeinrichtungen

Der Umrichter ist durch eine Vielzahl interner Schutzeinrichtungen gegen elektrische und thermische Überlastungen geschützt.

3. Anschluß und Bedienung des Transistorumrichters

Die Transistorumrichter sind kompakte fabrikfertige Einheiten, die demzufolge nur geringe äußere Beschaltungen erfordern. Im Bild 9 sind die Anschlußbilder der Transistorumrichter dargestellt.

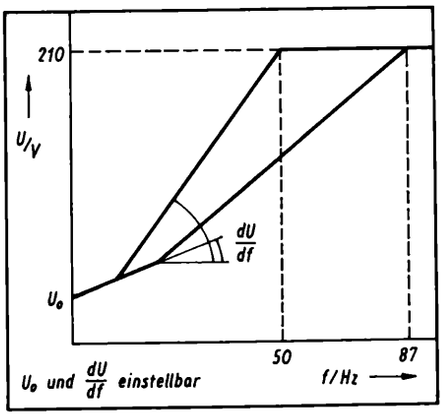


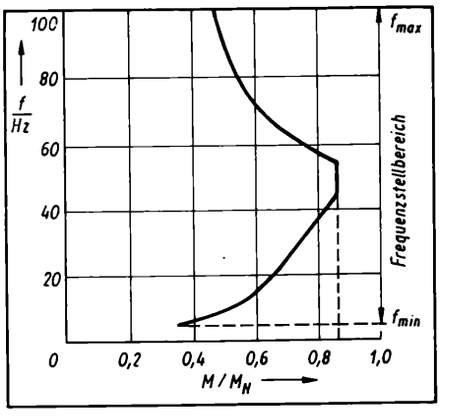
Bild 8. Spannungs-Frequenz-Zuordnung

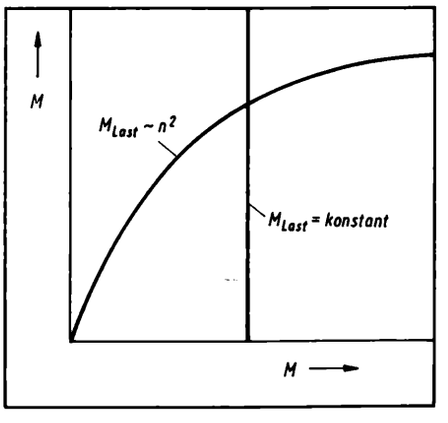
Bild 10. Thermische Drehzahl-Drehmoment-Grenzkennlinie eines 4poligen Drehstrom-Asynchronmotors 1,5 kW in Standardausführung ▶

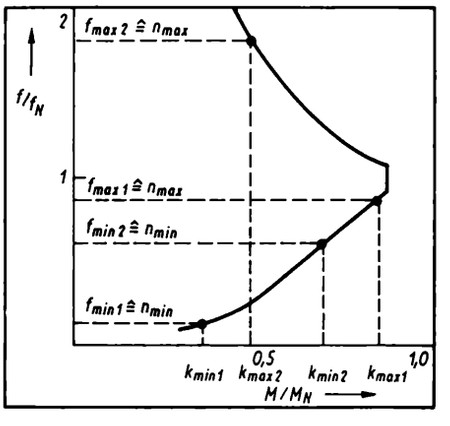
Bild 11. Typische Drehzahl-Drehmoment-Kennlinien von Arbeitsmaschinen; $n = f(M)$ ▼

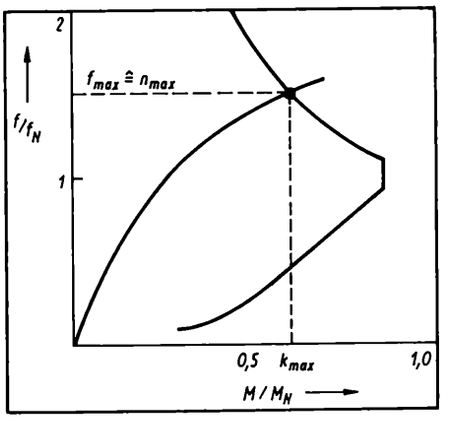
Bild 12. Auswahl eines Drehstrom-Asynchronmotors bei drehzahlunabhängiger Belastung ▼▼

Bild 13. Auswahl eines Drehstrom-Asynchronmotors bei quadratisch von der Drehzahl abhängiger Belastung ▼▼▼









Neben der Ein-Aus-Bedienung des Transistorumrichters mittels der entsprechenden Taster S2 und S3 ist dieses Betriebsregime auch über eine Steuerspannung 24 V oder mit dem Schließer eines Schützes anstelle des Hauptschalters S1 (im Bild 9) realisierbar. Die Anwahl des entsprechenden Betriebsregimes erfolgt durch Einlegen bestimmter Brücken an den Anschlußstellen des Umrichters.

4. Frequenzgestellter Drehstromantrieb

Grundlage für die Auslegung eines frequenzgestellten Drehstromantriebes ist die thermische Drehzahl-Drehmoment-Grenzkennlinie der Drehstrom-Asynchronmotoren bei Frequenzspeisung (Beispiel siehe Bild 10).
Bei von S1 abweichenden Betriebsarten können die thermischen Drehzahl-Drehmoment-Grenzkennlinien des Drehstrom-Asynchronmotors unter Beachtung der thermischen Grenze überschritten werden. Diese Betriebsarten bedürfen einer gesonderten Betrachtungsweise, bei der der Hersteller Unterstützung gibt.
Zu einer optimalen Auslegung des Antriebs sind folgende Angaben unbedingt erforderlich:

- Drehzahlstellbereich n_{min} bis n_{max} der Arbeitsmaschine
- Lastmoment bezogen auf die Motorwelle in Abhängigkeit von der Drehzahl.

Hinsichtlich der Auslegung werden zwei verschiedene Vorgehensweisen betrachtet, die aus den am häufigsten vorkommenden Lastmomentarten resultieren. Bild 11 zeigt die beiden typischen Lastarten:

- Drehzahlunabhängiges Lastmoment, M = konstant
  Beispiele: Förderbänder, Hängebahnen, Falzwerke, Fahrwerke
- Quadratisch von der Drehzahl abhängiges Lastmoment $m \sim n^2$
  Beispiele: Pumpen, Lüfter, Zentrifugen, Gebläse.

Bei M = konstant = M_{Last} werden n_{min} und n_{max} zur Auswahl benötigt. Bild 12 zeigt die Vorgehensweise. Je nach Polpaarzahl des Motors oder der Getriebeübersetzung eines Getriebemotors werden n_{min} und n_{max} entsprechende Frequenzen $f_{min\,1}$ und $f_{max\,1}$ oder $f_{min\,2}$ und $f_{max\,2}$ zugeordnet. Die Untersuchung des Einsatzes von Motoren mit anderen Polpaarzahlen bzw. Getriebeübersetzungen führt oftmals zu ökonomisch günstigeren Ergebnissen. Die Frequenzen $f_{min\,1}$, $f_{max\,1}$ und $f_{min\,2}$, $f_{max\,2}$ ergeben an der thermischen Drehzahl-Drehmoment-Grenzkennlinie die Faktorenpaare $k_{min\,1}$, $k_{max\,1}$ und $k_{min\,2}$, $k_{max\,2}$. Der jeweils kleinere Faktor führt über die Beziehung

$$M_1 = \frac{M_{Last}}{k_{min\,1}} \tag{1}$$

$$M_2 = \frac{M_{Last}}{k_{max\,2}} \tag{2}$$

zu den erforderlichen Motormomenten, die mit der Motortypenliste verglichen werden. Der Motor wird nach dem Kriterium $M_N > M_1$, M_2 ausgewählt. Im Beispiel nach Bild 12 führt M_2 zur Auswahl des Motors, da infolge $k_{max\,2} > k_{min\,1}$ $M_2 < M_1$ ist. Damit wird der höherpolige Motor bzw. der mit der geringeren Getriebeübersetzung gewählt.
Bei $M \sim n^2$ mit $M\,(n = n_{max}) = M_{Last}$ führt nach Bild 13 in jedem Fall n_{max} zur Auswahl des Motors

$$M = \frac{M_{Last}}{k_{max}}. \tag{3}$$

5. Zusammenfassung

Vorgestellt wird das Stellglied „Transistorumrichter" für die Drehzahlstellung von Drehstrom-Asynchronmotoren als neuer Baustein der VEM-Antriebstechnik. Die besonderen Anwendungsmerkmale werden beschrieben. Die schaltungstechnischen Vorzüge des Transistorumrichters komplettiert mit den Vorzügen des Drehstrom-Asynchronmotors ergeben den universell einsetzbaren drehzahlvariablen Drehstromantrieb.

Literatur

[1] *Michalke, N.; Dietze, W.:* Der drehzahlvariable Drehstromantrieb – ein Beispiel kompletter Antriebstechnik des VEM Elektromaschinenbaus. Elektromaschinenbau der DDR – Technische Mitteilungen 2 (1981) 2, S. 3 – 5
[2] *Michalke, N.; Voigtsberger, C.:* Drehstromantriebe mit Drehstromsteller. Elektromaschinenbau der DDR – Technische Mitteilungen 4 (1983) 2, S. 22 – 25

EA 5544

Zuverlässige elektrische Antriebe durch Kontrolle der Alterungsprozesse

H. Reiche, KDT, Dresden

Mit der ständigen Erhöhung des Automatisierungsgrades in der Verfahrenstechnik und mit der weiteren Erhöhung der innerhalb eines Prozesses verarbeiteten Werte nimmt die Bedeutung der Zuverlässigkeit der elektrischen Antriebe zu. Es genügt nicht, die Wahrscheinlichkeit eines Antriebsausfalls einschätzen zu können, und es geht nicht nur darum, den Antrieb selbst zu schützen: Die Zuverlässigkeit des Antriebs als Basis für die Sicherung des Prozesses ist kontinuierlich insofern zu überprüfen, als der Alterungszustand und die Restverfügbarkeit ermittelt werden müssen.
Die zur Lösung solcher Aufgaben notwendigen Grundlagen und Möglichkeiten sollen für die im Hinblick auf Stückzahl und installierte Gesamtleistung bedeutendste Motorengruppe, die Niederspannungs-Asynchronmotoren, erläutert werden.

1. Allgemeine Situation hinsichtlich der Zuverlässigkeit von Niederspannungs-Asynchronmotoren

Berichte über die Zuverlässigkeit von Asynchronmotorenantrieben enthalten Ausfälle von

- Wälzlagern um etwa 70 bis 80% und
- Wicklungen um etwa 15 bis 25% [1].

Unter Berücksichtigung der Tatsache, daß die Ausgaben für die Reparatur der Wicklungen etwa 5 bis 10mal höher sind als die Ausgaben für den Wechsel der Lager, ist die Bedeutung der Ausfallursachen ziemlich gleichwertig.
Andere Analysen dagegen weisen aus, daß in Abhängigkeit von den verschiedenen Anwendungsgebieten die Ausfallsituation durch

- Lagerschäden: etwa 10%
- Wicklungsschäden: etwa 90%

charakterisiert ist. Eine wichtige Ursache für dieses Verhältnis ist das Fehlen einer Sicherheit gegenüber thermischer Überlastung der Wicklungen [2].
Mit dem Ziel, unerwartete Ausfälle zu vermeiden, erscheint es zweckmäßig, den Zustand der Antriebe, speziell den Zustand der Lager und der Wicklungen, zu überwachen. Das Maß für diese Zustandsüberwachung kann das gemessene oder berechnete Lebensalter aller wichtigen Teile des Antriebs sein.

2. Probleme der Lebensdauerprognose für Niederspannungswicklungen

Niederspannungsmotoren, insbesondere Niederspannungs-Asynchronmotoren, sind zu fast 80% an der Umwandlung der gesamten elektrischen Antriebsenergie einer hochindustrialisierten Wirtschaft beteiligt. Die Material- und die Energieökonomie ihres Einsatzes ist deshalb von außerordentlich großer volkswirtschaftlicher Bedeutung. Eine gute Einsatzökonomie ist gewährleistet, wenn eine Übereinstimmung zwischen Typenleistung und geforderter Antriebsleistung besteht, der Materialaufwand des Motors also dem Antriebsproblem angepaßt ist, und wenn somit der Motor bei Nennbelastung betrieben wird, für den gewöhnlich auch die höchsten Werte der energieökonomisch bedeutenden Eigenschaften, wie Wirkungsgrad und Leistungsfaktor, auftreten. Praktisch sind aber solche idealen Antriebsverhältnisse nicht anzutreffen. Die Belastungs-Zeit-Funktion kann sehr stark vom Fall des sogenannten Dauerbetriebs (Betriebsart S1 nach TGL 20675) abweichen; mit den Betriebsartdefinitionen S2 bis S9 wird versucht, solche Belastungsfunktionen in ein Schema zu fassen, das eine einfache Berechnung des Antriebs

Dr.-Ing. habil. *Hans Reiche* ist Abteilungsleiter für Erzeugnisforschung im VEB Kombinat Elektromaschinenbau.

zuläßt. Grundvoraussetzung für die Projektierung eines Asynchronmotorantriebs ist aber immer das Verbot, in der Wicklung des Motors eine Temperatur zuzulassen, die höher als die der Wärmebeständigkeitsklasse des Isolationssystems nach TGL 8958 entsprechende Höchsttemperatur ist. Bezüglich der Lebensdauer der Wicklung wird die Aussage gemacht, daß die Wicklung bei dauernder Belastung mit der Nenntemperatur eine Lebensdauer von in der Regel 25000 h hat, eine Angabe, die schon in Anbetracht der stark wechselnden Belastung keinen praktischen Wert hat.

Es ist aber gerade von hoher ökonomischer Bedeutung, daß die Lebensdauer der Wicklung ausgenutzt wird bzw. eine Anpassung von Lebensdauer der Wicklung (und aller anderen Verschleißelemente) und Einsatzfall vorgenommen wird. Aus einer anderen, globaleren Sicht wird diese Forderung weiter bekräftigt. Asynchronmotoren werden im Mittel nur zu 60% ihrer Leistung ausgenutzt. Das ist eine allgemeine internationale Erfahrung. Als Beispiele seien statistische Ergebnisse aus der DDR und der UdSSR zitiert [3], deren Gültigkeit sich durch in letzter Zeit durchgeführte Analysen erhärtet hat, zumal die Projektierungsmethode sich in den letzten Jahren nicht geändert hat.

Für die Verbesserung der Verhältnisse in den nächsten Jahren werden zwei Wege gesehen

- Abkehr vom Verbot des Überschreitens der entsprechend der Wärmebeständigkeitsklasse der Wicklung maximalen Wicklungstemperatur bei der Projektierung und die Auslegung des Antriebsmotors unter der Voraussetzung der Nutzung der gebotenen Lebensdauer der Wicklung
- Berechnung oder Ermittlung des Lebensdauerverbrauchs während des Betriebs wichtiger Antriebe als Maßnahme zur Minderung des Risikos beim Einsatz des mit dem Ziel der Ausschöpfung der Lebensdauer projektierten Motors.

Der zweite Weg soll im folgenden näher erläutert werden.

3. Der Alterungsprozeß in Niederspannungswicklungen

Nach neueren Untersuchungen über die für die Wärmebeständigkeit eines Isolationssystems maßgebende Komponente, den Lackdraht [4], stellt sich die Alterung als chemisch-physikalischer Prozeß dar, der zum Masseverlust und zu einer Löcher- und Rißbildung in der Lackschicht führt. Dabei erscheinen die in den folgenden Diagrammen wiedergegebenen Zusammenhänge aufschlußreich. Nach Bild 1 (als Zusammenfassung der in [4] dargestellten Ergebnisse, erhalten an Polyesterimid-Lackdraht) geht eine Dickenabnahme Δd der Lackschicht einher mit dem Masseverlust ΔG und einer Kapazitätszunahme ΔC bzw. Erhöhung der Dielektrizitätszahl $\Delta \varepsilon_{rel}$. Die Zunahme der rechnerisch ermittelten Dielektrizitätszahlen ist dabei auf die Ausbildung von Löchern in der Lackschicht zurückzuführen. Die Abnahme der Durchschlagsspannung ist der Dickenabnahme Δd proportional.

Allerdings ergeben sich für einen anderen Lacktyp, Polyurethan, etwas andere Ergebnisse. Es zeigt sich aber deutlich, daß auch bei diesem Lackdraht der Masseverlust ΔG ein unverwechselbares Maß für den ablaufenden Alterungsprozeß ist.

Alle Beobachtungen sind in Übereinstimmung mit dem Reaktionsmodell von *Büssing* [5], das für den vorliegenden Fall die Reaktion des Lacks mit dem umgebenden Gas beschreibt und zu einer typischen Lebensdauer-Temperaturfunktion

$$L = A_1 e^{B_1/T} + A_2 e^{B_2/T}$$

T absolute Temperatur, L Lebensdauer
führt.

Meist beschreibt die in dem für die technische Anwendung eingeschränkten Temperaturbereich gültige vereinfachte Gleichung

$$L = A\, e^{B/T}$$

das Alterungsverhalten genügend genau.

Es erscheint aber nicht sicher, ob dieses Reaktionsmodell auch gilt, wenn die Temperaturen großen Schwankungen unterliegen. Die Frage nach der Unabhängigkeit der gesamten Alterungszeit von der Folge unterschiedlicher Beanspruchungstemperaturen läßt sich durch den in Bild 2 charakterisierten Test beantworten: Es ist die Frage, ob der Lebensdauerverbrauch L_{12} und der Lebensdauerverbrauch L_{21} gleich sind.

Von *Berthold* [6] wurde dieser Äquivalenztest mit Motoretten bei 200°C und 220°C durchgeführt und die Unabhängigkeit der Alterung von der Folge der Temperaturbeanspruchungen nachgewiesen.

Bild 1
Parameteränderung durch Alterung von Drähten mit Polyesterimid-Lack-Isolation

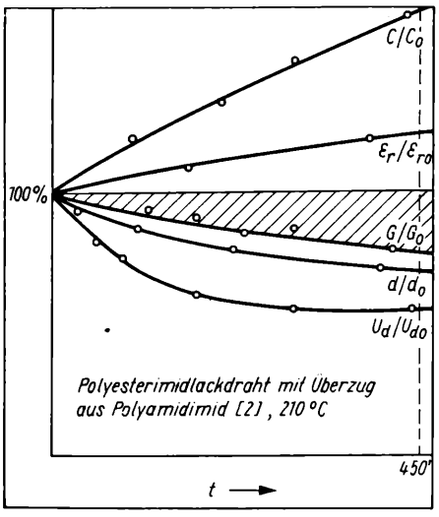


Bild 2
Äquivalenztest zur Folge thermischer Beanspruchung

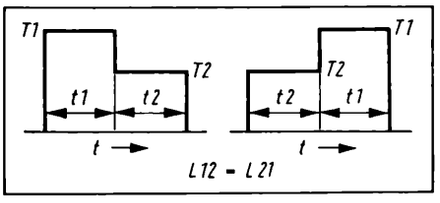


Bild 3
Algorithmus zur Berechnung des Lebensdauerverbrauchs von Wicklungen

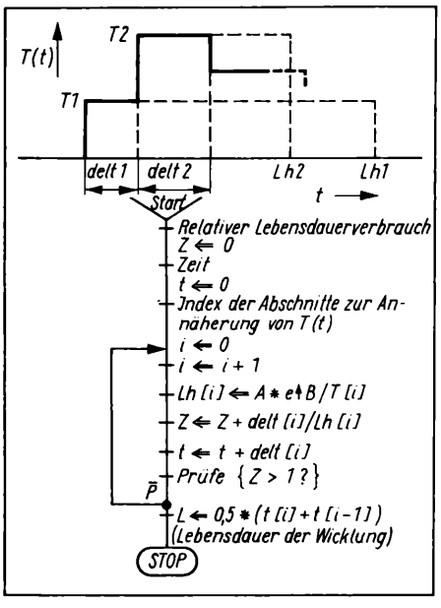
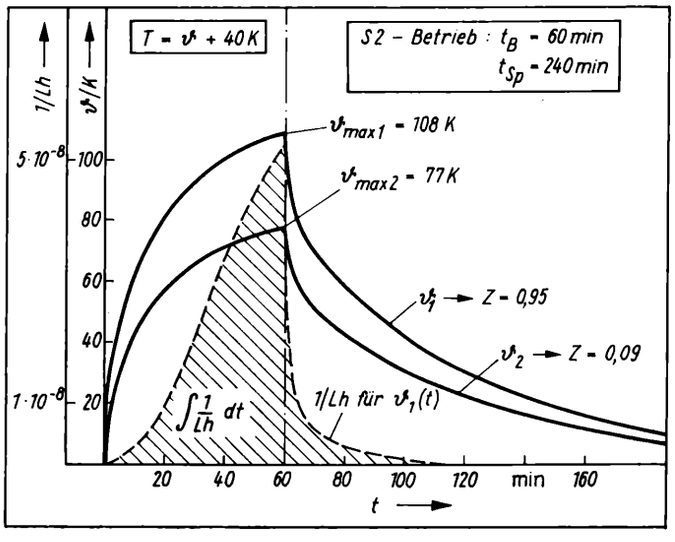


Bild 4
Lebensdauerverbrauch Z in Niederspannungswicklungen bei S2-Betrieb und unterschiedlicher Maximaltemperatur ▼



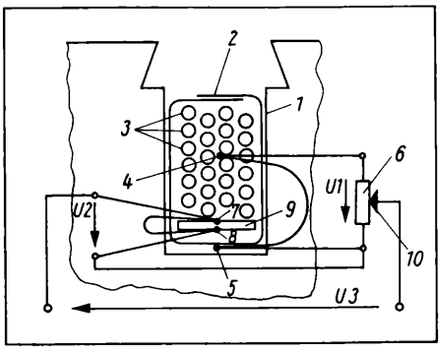


Bild 5
Meßprinzip zur Bestimmung der Änderung der thermischen Leitfähigkeit in der Nut

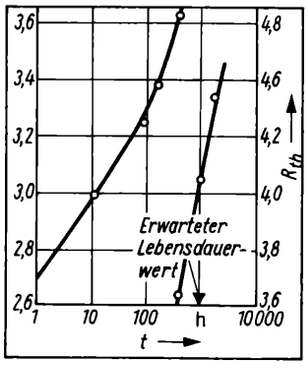


Bild 6. Veränderung der spezifischen Wärmeleitfähigkeit bei hoher thermischer Beanspruchung

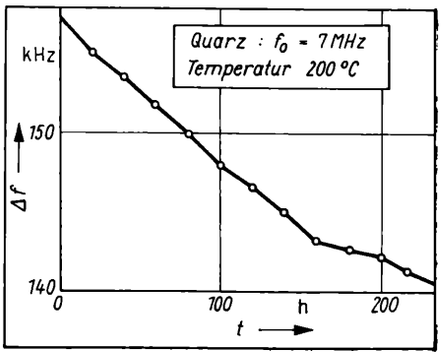


Bild 7
Änderung der Schwingfrequenz als Folge der thermischen Alterung des den Quarzkristall bedeckenden Tränkmittels

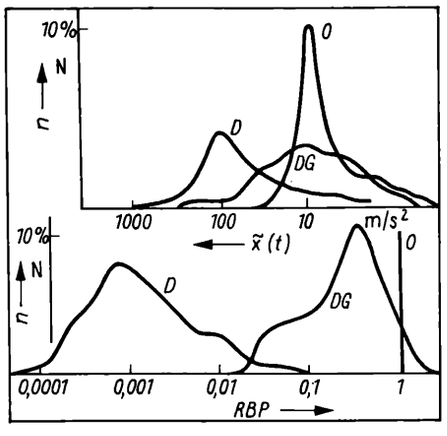


Bild 8
Häufigkeitsverteilungen des Effektivwerts der Schwingbeschleunigung und des RBP-Werts für verschiedene Zustände des Wälzlagers
0 Ausgangszustand,
DG Schädigungsphase,
D Ausfall

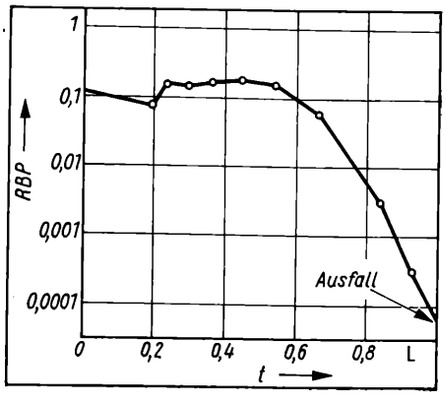


Bild 9
Verlauf des RBP-Werts über der Lebensdauer eines Wälzlagers bis zum Ausfall

4. Die Berechnung der voraussichtlichen Lebensdauer einer Niederspannungswicklung bei beliebigem Temperaturregime

Nach Klärung der annähernden Gültigkeit des Lebensdauergesetzes bei stark wechselnden Temperaturwerten kann ein Algorithmus zur Bestimmung der Lebensdauer angegeben werden, der es erlaubt, aus gemessenen Temperaturverläufen unmittelbar den wahrscheinlichen Lebensdauerverbrauch aufzusummieren. Dieser Algorithmus ist in Bild 3 wiedergegeben. Der Temperatur-Zeit-Verlauf wird hierbei durch mit dem Zähler i indizierte Abschnitte beschrieben. Die Zeitabschnitte werden mit Δt_i = delt [i] gekennzeichnet.
Das für einen Mikrorechner K 1520 erarbeitete Rechnerprogramm LEB [7] liefert neben dem Lebensdauerverbrauch Z auch eine die mittlere Belastung des Motors aus Sicht des Lebensdauerverbrauchs charakterisierende Größe, den sogenannten lebensdauerorientierten Belastungsgrad als Verhältnis des während einer Belastungsperiode TB auftretenden Lebensdauerverbrauchs zu dem Lebensdauerverbrauch Lhn, der bei konstanter Belastung mit der Nominaltemperatur der Wärmebeständigkeitsklasse des Isolierstoffsystems aufgetreten wäre.

$$BILD = \frac{Z}{t/Lhn} = \text{lebensdauerorientierter Belastungsgrad}$$

Dieser Wert charakterisiert drastischer und zugleich zutreffender die vorherrschende Unterbelastung der Antriebe als der im Abschnitt 1 zitierte leistungsorientierte Belastungsgrad.

5. Lebensdauerverbrauch bei thermischer Belastung im S2-Betrieb und Schlußfolgerungen für die thermische Überlastbarkeit einer Wicklung

In Bild 4 sind die Rechnerergebnisse über die Temperatur und den Lebensdauerverbrauch einer Niederspannungs-Asynchronmaschine für S2-Betrieb wiedergegeben. Die Berechnung der Temperaturen für das Belastungsspiel beruht auf der Nutzung eines Zweikörpermodells. Dementsprechend treten zwei Zeitkonstanten auf. Im Fall einer Belastung der Maschine, die zu der zulässigen Erwärmung von 80°C führt, ergibt die Lebensdauerberechnung entsprechend dem Algorithmus, der im Bild 3 wiedergegeben ist, den eingezeichneten Verlauf des Wertes L_H^{-1}, dessen Integration über der Zeit den Lebensdauerverbrauch darstellt. Wird die Maschine mit einem solchen S2-Betrieb ständig belastet, so beträgt der relative Lebensdauerverbrauch Z nur 9% des für Dauerbelastung mit maximal zulässiger Temperatur eintretenden Wertes von $Z = 1$. Die Maschine kann somit, wenn auf den nominellen Lebensdauerverbrauch orientiert wird, mechanisch und damit thermisch wesentlich stärker belastet werden.
Im Fall des ebenfalls berechneten Temperaturverlaufs, der eine Spitzenerwärmung von 110 K aufweist, ergibt der errechnete Lebensdauerverbrauch den Relativwert $Z = 0{,}95$. Somit erscheint es im Rahmen der Genauigkeit durchaus angemessen, bei der Betriebsart S2 für diese Maschine die Maximalerwärmung von 110°C zuzulassen, ohne den nominellen Lebensdauerwert der Wicklung zu unterschreiten.

6. Experimentelle Bestimmung des Lebensdauerverbrauchs

Die Berechnung des Lebensdauerverbrauchs ist zur Einschätzung der thermischen Belastung eines Antriebs instruktiv. Steht zur Überwachung des Antriebs eine Rechentechnik zur Verfügung, so bietet sich an, den Lebensdauerverbrauch zu berechnen und gegebenenfalls als eine mit „Unschärfe" behaftete Größe in die Entscheidung über den Gesamtzustand des Antriebs einzubeziehen. Es gibt aber einerseits Fälle, wo eine Rechentechnik im notwendigen Umfang nicht zur Verfügung steht. Andererseits ist eine weitere, zusätzliche Informationsquelle über die thermische Vorgeschichte der Wicklung des Antriebs in Erweiterung der Redundanz wünschenswert.
Es ist deshalb ein sinnvolles Ziel, die chemisch-physikalischen Kenntnisse über die thermische Alterung des Isolationssystems zur Realisierung einer Bestimmungstechnik für den Lebensdauerverbrauch zu nutzen.
Das Wirkprinzip einer solchen Bestimmungstechnik läßt sich grundsätzlich schon aus den in Abschnitt 3 wiedergegebenen und allgemein bekannten Erscheinungen ableiten. Es kommen die Prinzipien der Bestimmung der sich durch die Alterung verändernden Masse, der Dicke, der Verschiebungsströme und der Durchschlagspannung in

Frage. Voraussetzung für die Anwendbarkeit soll natürlich immer eine zerstörungsfreie Form der Bestimmung sein, da eine laufende Überwachung des Alterungszustands prophylaktischer Natur sein muß.

Als ein mögliches Prinzip sei zunächst die Bestimmung der Veränderung der thermischen Leitfähigkeit des Isolationssystems ausgewählt. Es ist zwar grundsätzlich bekannt, daß mit der Alterung des Isolationssystems durch die schon geschilderte Zunahme der Porösität der Isolierstoffe die Wicklungserwärmung bei einer bestimmten Belastung des Motors zunimmt. Da aber noch eine Anzahl weiterer Einflußgrößen, hauptsächlich solche des Belüftungssystems, die Wicklungstemperatur beeinflussen, muß ein spezifischer Wert der thermischen Leitfähigkeit gemessen werden, der möglicherweise auch belastungsunabhängig ist.

Eine dafür geeignete Meßtechnik ist in Bild 5 wiedergegeben [8].

In der Wicklungsnut 1 des Ständers der elektrischen Maschine befindet sich, umgeben von der Nutauskleidungsfolie 2, das Leiterbündel der Wicklung, bestehend aus den im Querschnitt angegebenen Einzelleitern 3. Der in den Einzelleitern 3 fließende Belastungsstrom bildet die Stromwärme, die sowohl in Richtung Nutgrund zum Ständeraußenmantel in Form von Wärmeströmen abgeleitet wird. Innerhalb der Wicklungsnut 1 läßt sich mit Hilfe eines Thermoelementpaares, bestehend aus den gegeneinandergeschalteten Thermoelementen 4 und 5, eine Spannung U_1 über dem Widerstand 6 erzeugen, die dem durch den Wärmestrom zum Ständeraußenmantel erzeugten Temperaturabfall entspricht. Ein zweites Thermoelementepaar, bestehend aus den Thermoelementen 7 und 8, die beidseitig an einem der thermischen Alterung nicht unterliegenden Vergleichskörper 9 anliegen, erzeugt die Spannung U_2, die dem Wärmestrom ebenfalls proportional ist. Bei gleichem Wärmestrom für beide Thermoelementepaare ist die Spannung U_1 der Temperaturdifferenz über den wesentlichen Teilen des Isolierstoffsystems, bestehend aus den elektrischen Leitern 3 mit ihrer Isolation, den zwischenliegenden Tränkharz- oder Tränklackbestandteilen und der Nutauskleidungsfolie 2, proportional und damit von der thermischen Alterung und einer damit verbundenen Änderung des Wärmewiderstandes aller dieser Teile abhängig. Die Spannung U_2 ist dagegen nur der Temperaturdifferenz über einem der Alterung nicht unterliegenden Vergleichskörper 9 und damit allein dem Wärmestrom proportional. Durch die in Bild 5 gezeigte Gegenschaltung der Spannungen U_1 und U_2 über den für den Nullabgleich im ungealterten Zustand vorgesehenen beweglichen Abgriff 10 zur Spannung U_3 ist mit der Änderung des Wärmewiderstandswertes die Anzeige der Spannung U_3 ein Maß der thermischen Alterung des Isolierstoffsystems.

Die Veränderung der spezifischen Wärmeleitfähigkeit einer Nutanordnung entsprechend Bild 5, gemessen hier vereinfacht an der Thermospannung Rth des Thermoelementepaares 4 und 5, zeigt Bild 6. Die thermische Beanspruchung des Isolationssystems wurde so hoch gewählt, daß eine Gesamtlebensdauer von etwa 1000 h zu erwarten war. Wie zu erkennen ist, stellt die thermische Leitfähigkeit des Isolationssystems eine signifikante Größe dar, so daß sich auf dieser Basis eine Bestimmungstechnik für den Lebensdauerverbrauch anwenden läßt.

Beim laufenden Betrieb eines Antriebs muß die mit der Belastungsdynamik verbundene ständige Verformung des Wärmefelds beachtet werden. Deren verfälschendem Einfluß kann dadurch begegnet werden, indem entweder in einer stationären Phase der Alterungsgrad gemessen wird oder der über einem Belastungszyklus genommene Mittelwert der Thermospannungen gebildet wird.

Die Untersuchung der Abhängigkeit zwischen Masse und Temperatur wird von verschiedenen Produzenten von Laborausrüstungen als mikroanalytische Methode für die Bewertung der Komponenten von Isolationssystemen genutzt. Eine billige und miniaturisierte Verwirklichung dieses Prinzips stellt ein Quarzschwinger dar, der mit einer Schicht von Isolationsmaterial, wie Drahtlack oder Tränklack, beschichtet ist. Unter dem Einfluß von Zeit und Temperatur nimmt die Masse dieser Schicht ab und die Frequenz des Schwingers steigt an. Bild 7 zeigt diese Abhängigkeit zwischen der Alterung des Isolationsmaterials und Zeit für ein Tränkmittel. Die Alterungstemperatur beträgt in diesem Fall 200°C. In Übereinstimmung mit Untersuchungen auf der Grundlage von Motorettenprüfungen stellt der Quarzschwinger ein Maß für das Alter der Wicklung zur Verfügung.

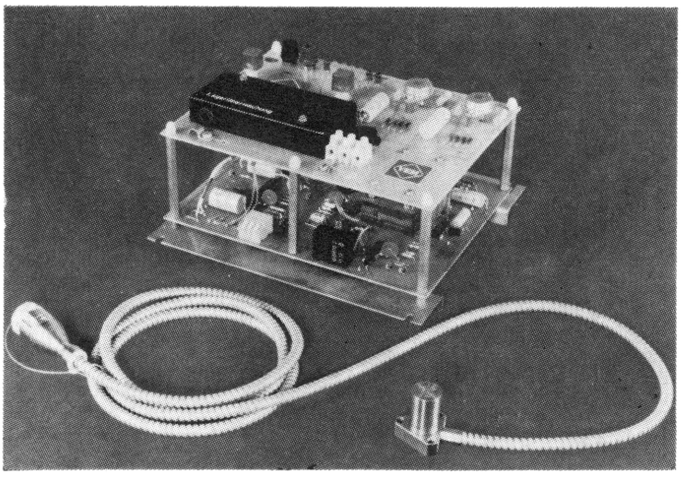


Bild 10. Forschungsmuster eines Lagerdiagnosegeräts zur Messung des RBP-Werts

7. Prinzipielle Zusammenhänge zwischen der Art der Projektierung und dem Einsatz der Schutztechnik

Die derzeitig international übliche Projektierungsmethode arbeitet, wie bereits in Abschnitt 2 ausgeführt, nach dem Prinzip des Verbots des Überschreitens der zulässigen Maximaltemperatur. Diesem Prinzip ebenfalls folgend, ist die Schutztechnik für die Motoren ausgelegt. Sie setzt sich das Ziel, auf der Basis von Strommessungen und auf mehr oder weniger treffsichere Art und Weise die Temperatur der Wicklung zu ermitteln oder zu errechnen und somit das Überschreiten der genannten Maximaltemperatur kontrollieren zu können bzw. das Abschalten zum Schutz des Motors zu gewährleisten. Im besten Fall wird die Temperatur in der Wicklung mit Sensoren gemessen und zum Auslösen des Schalters benutzt. Vom mehr oder weniger tauglichen Versuch, den Lebensdaueraspekt beim Schutz des Motors zu berücksichtigen, abgesehen, sind also Projektierungsmethode und Schutzmethode eine notwendige Übereinstimmung des Arbeitsprinzips.
Folgt man aber mit dem Ziel der höheren Ausnutzung des aktiven Materials, das in der Maschine steckt, dem Prinzip einer lebensdauerorientierten Projektierung des Antriebs, nutzt man also den in Bild 3 wiedergegebenen Algorithmus für die Auswahl des für die Lösung eines Antriebsproblems, das durch einen Belastungszyklus charakterisiert ist, ausreichenden Motors, so hat man auch die diesem Projektierungsprinzip entsprechende Meßtechnik zur Überprüfung der Betriebssicherheit einzusetzen. Diese Meßtechnik ist eine Technik zur Bestimmung des Lebensdauerverbrauchs, entweder auf rechnerischer (Abschnitt 4) oder experimenteller Basis (Abschn. 6).

8. Allgemeine Zusammenhänge zwischen Lagerausfällen und ihren Ursachen

Alle Ursachen für Lagerausfälle äußern sich in Schwingungen in einem Frequenzbereich von 0 bis 20 kHz und mehr. Der beste Weg der Zustandsüberwachung von Lagern ist offensichtlich eine schnelle Fourier-Spektral-Analyse (FFT) und im Rahmen eines Lernprozesses die Beobachtung bestimmter Bereiche des Frequenzspektrums. Dieser Weg für die routinemäßige Zustandsüberwachung kommt jedoch aus Kostengründen nicht in Frage. Gut bekannte Meßtechniken sind die Messung des sogenannten Kurtosis-Faktors oder die SPM (Shock Pulse Meter)-Methode. Grundlage dieser Methoden ist die Messung der Schwinggeschwindigkeit unter Nutzung fester oder ambulant verwendeter Sensoren. Eine weitere Methode ist die Benutzung der Stromfrequenzanalyse zur Beschreibung des Zustands der Lagerung [9].

9. Eine neue Methode der Lagerüberwachung als Diagnoseeinrichtung [10]

Eine neue Diagnosemethode, die auf umfangreichen Erfahrungen beruht, benutzt die Messung der Schwingbeschleunigung in einem Frequenzbereich von 2 bis 20 kHz. Über den gesamten Bereich wird sowohl der Effektivwert $\tilde{x}$ (t) als auch der Maximalwert $\hat{x}$ (t) gemessen. Diese Werte sind abhängig vom Zustand der Wälzlager und damit abhängig von der Laufzeit. Die Eineichung der Zustandsüberwachungseinrichtung ist außerordentlich wichtig für die Treff-

sicherheit der Vorhersage für die Restverfügbarkeit. Aus diesem Grunde müssen zu Beginn der Zustandsüberwachung die Anfangswerte $\tilde{x}$ (0) und $\hat{x}$ (0) gemessen werden. Für einen sicheren Kontakt zwischen Sensor und Lagerschild sollten feste Sensoren für die kontinuierliche Überwachung genutzt werden. Die neue Qualität der vorgeschlagenen und realisierten Methode ist die Multiplikation der beiden Relativwerte in der folgenden Form

$$RBP\,(t) = \frac{\tilde{x}\,(0)}{\tilde{x}\,(t)} \, \frac{\hat{x}\,(0)}{\hat{x}\,(t)}$$

Dieses Produkt, das sich für die Diagnoseaussage als sehr geeignet erwiesen hat, wird als Relatives Lagerprodukt bzw. RBP-Wert (Related Bearing Product) bezeichnet. Die Brauchbarkeit des Wertes RBP ist nachgewiesen worden durch folgende Resultate über Fehlerraten der Diagnose in %:

$\tilde{x}\,(t)$	$\tilde{x}\,(t) \cdot \hat{x}\,(t)$	$\frac{\tilde{x}\,(t)}{\tilde{x}\,(0)}$	$\frac{\hat{x}\,(t)}{\hat{x}\,(0)}$	RBP
60	5	10	5	0,8

Der differenzierende Charakter des Diagnosewerts RBP zeigt sich in Bild 8 im Verhältnis zur Aussage aufgrund der Messung des Effektivwerts $\tilde{x}$ (t): Die drei wichtigen Zustände Ausgangswert (0), Schädigung (DG) und schließlicher Ausfall (D) sind ziemlich klar voneinander trennbar durch die Beobachtung des Werts RBP. Wenn der RBP-Wert unter einen Wert von 0,02 absinkt, muß der Motor unmittelbar außer Betrieb genommen werden, die Restverfügbarkeit wird dann nicht mehr als 10% der gesamten Lebensdauer betragen. Bild 9 zeigt die typische Entwicklung des Schadens eines Wälzlagers bis zum Ende seiner Lebenszeit.

10. Applikationsmuster zur Ermittlung des RBP-Wertes von Wälzlagern

Das in Bild 10 dargestellte Gerät ist zur Zeit als Forschungsmuster bei verschiedenen Anwendern an wichtigen Antrieben in Erprobung. Die Anzeige von Schädigungsstufen erfolgt in analoger Form. Für das Anbringen der Schwingungssensoren Typ KS 60 der Firma Metra Radebeul sind an den Lagerschildern Adapter angebracht.

Literatur

[1] IEEE Transactions ind. appl. (1982) 1, S. 20 (siehe auch referatni žurnal, Elektrische Masch. und Transf. 9/1984)
[2] *Ermolin, N. P.; Zerichin, I. P.:* Zuverlässigkeit elektrischer Maschinen. Berlin: VEB Verlag Technik 1981
[3] *Reiche, H.:* Die optimale Auslegung elektrischer Maschinen unter dem Gesichtspunkt der Material- und Energieökonomie. ELEKTRIE, Berlin 35 (1981) 4, S. 171 – 174
[4] *Warbinek, K.:* Über die Alterung und Lebensdauer von Wicklungen. Dissertation, Hochschule Kassel 1981
[5] *Büssing, A.:* Beiträge zum Lebensdauergesetz elektrischer Maschinen. AfE (1942) S. 333 – 361
[6] *Berthold, V.:* Äquivalenztest für Niederspannungswicklungen. Bericht des VEB Forschungs- und Entwicklungszentrum für elektrische Maschinen Dresden 1983
[7] *Halle, H.; Berg, N.:* Bestimmung des Lebensdauerverbrauchs. Bericht des VEB Forschungs- und Entwicklungszentrum für elektrische Maschinen Dresden 1983
[8] *Reiche, H.:* DDR-Patentschrift Nr. 207770
[9] *Steele, M. W.; Ashen, R. A.; Knight, L. G.:* Condition monitoring of motors, Proc. of MOTORCON, Sept. 1982
[10] *Sturm, A.; Kinsky, D.; Förster, R.; Bode, M.:* Maschinendiagnose zur Ausschöpfung von Ausnutzungsreserven und zur Erhöhung der Zuverlässigkeit. Maschinenbautechnik, Berlin 33 (1984), H. 3, S. 100 – 105

EA 5542

Wir empfehlen aus dem Angebot des VEB Verlag Technik

Statistik für Elektrotechniker

Eine Darstellung an Beispielen aus der Hochspannungstechnik

Von *W. Hauschild; W. Mosch.* Berlin: VEB Verlag Technik 1984. 1. Auflage. 268 Seiten, 185 Bilder, 56 Tafeln. Leinen 28,— Mark. Bestell-Nr. 553208 6

Das Buch verknüpft die Methoden der mathematischen Statistik zur Planung und Auswertung von Experimenten mit den fachspezifischen Problemen der energetischen Elektrotechnik, insbesondere der Hochspannungstechnik. Die mathematischen Grundlagen werden ohne Ableitungen und Beweise in logischer Folge dargestellt und an zahlreichen Beispielen erläutert.

Die Redaktion

Elektronischer Auslöser für Niederspannungs-Leistungsschalter mit neuer Lösung für das Selektivitätsproblem

F. Beer, KDT; J. Keitel, KDT; W. Wernecke, KDT; J. Czinczoll, KDT; Berlin

Die herkömmlichen Schutzeinrichtungen in NS-Leistungsschaltern, wie Bimetalle und elektromagnetische Schnellauslöser, haben ihre Leistungsfähigkeit und ihre Wirksamkeit in vielen praktischen Anwendungsfällen bewiesen. Einschränkungen im Hinblick auf ihre Schutzfunktion betreffen z.B. die Reproduziergenauigkeit und die Einstellmöglichkeit bestimmter Größen, wie Trägheitsgrad beim thermischen Auslöser oder selektive Staffelzeit beim Schnellauslöser.

Mit dem nachfolgend beschriebenen elektronischen Auslöser werden diese Nachteile vermieden und höhere Gebrauchswerteigenschaften erreicht. Der elektronische Auslöser ist auf Basis zweier Hybridschaltkreise aufgebaut und durch eigene Patente abgesichert [1] bis [5].

1. Aufbau und Wirkungsweise des elektronischen Auslösers

1.1. Baugruppen des elektronischen Auslösers

Der elektronische Auslöser für Niederspannungs-Leistungsschalter besteht aus den Baugruppen (Bild 1)

- Meßeinrichtung zur Stromüberwachung und gleichzeitigen Einspeisung der Eigenstromversorgung
- elektronischer Auswerteblock zur Gewährleistung einer einstellbaren Strom-Zeit-Kennlinie (Auslösekennlinie)
- Eigenstromversorgung
- elektromagnetisches Auslöseglied zur Freigabe des Schaltschlosses.

Im Gegensatz zu konventionellen Auslösern, die die transformierten Ströme unmittelbar als Eingangsgrößen benutzen, benötigen elektronische Baugruppen Spannungen als Eingangssignale. In Wechsel- und Drehstromkreisen erfolgt deshalb die Meßsignalgewinnung durch Strom-Spannungs-Wandler, die gleichzeitig die Eigenstromversorgung gewährleisten.

Im elektronischen Auswerteblock wird der Überlast-, Kurzschluß- und Selektivschutz entsprechend der Auslösekennlinie (Bild 2) unter Einhaltung der IEC-Vorschriften realisiert. Zur Anpassung der Auslösekennlinie an die spezifischen Schutzanforderungen sind folgende Einstellmöglichkeiten gewährleistet:

1) Einstellstrom	$I_e = (0{,}4 \cdots 1{,}0)\, I_N$		
2) Trägheit bei 6 I_e	$(3 \cdots 30)$ s		
3) Ansprechwert der Kurzschlußauslösung	$(2 \cdots 15)\, I_e$		
4) Selektivschutz			
— Zeitselektivität	$(10 \cdots 300)$	10^{-3}	s
— Selektivität durch Signalsteuerung			
Blockadezeit des Schaltschlosses	$(10 \cdots 150)$	10^{-3}	s
Erholzeit	$0{,}1 \cdots 1$ s		
5) Sofortauslösung bei großen Kurzschlußströmen oberhalb (einstellbar innerhalb des Auslösers)	$5\, I_e$		

Die Ausutzung der Einstellbereiche erfolgt in Abstimmung zum verwendeten Leistungsschaltertyp.

Elektronische Auslöser als integrierte Bestandteile eines Leistungsschalters werden unabhängig von äußeren Hilfsspannungen betrieben. Deshalb muß der Auslöser eine eigene Stromversorgung für die Bereitstellung der Versorgungsspannungen des elektronischen Auswerteblocks und zur Bereitstellung der elektrischen Energie für die mechanische Auslösung des Schalters enthalten. Die dazu er-

Dr.-Ing. *Fritz Beer* ist Abteilungsleiter, Dr. sc. techn. *Jürgen Keitel* war zur Zeit der Bearbeitung des Themas Abteilungsleiter in der Abteilung „Entwicklung Niederspannungsschaltgeräte", Dipl.-Ing. *Walter Wernecke* war Gruppenleiter und Ing. *Jürgen Czinczoll* ist Mitarbeiter im Kombinat VEB Elektro-Apparate-Werke „Friedrich Ebert", Berlin-Treptow.

forderliche Leistung wird bei fast allen bekannten elektronischen Auslösern aus dem zu überwachenden Strom selbst gewonnen. Wie bei der Signalgewinnung wird dazu der Stromwandler benutzt. Auswerteblock und Eigenstromversorgung sind im Auslöserbaustein zusammengefaßt.
Die Auslösung des Schalters erfolgt über eine mechanische Schaltschloßentklinkung. Dazu ist eine Leistungsverstärkung des vom Auswerteblock abgegebenen elektrischen Auslösesignals erforderlich. Ein elektromechanischer Wandler erzeugt aus dem verstärkten elektrischen Signal einen Kraftimpuls. Die Leistungsverstärkung wird durch Thyristoren erreicht, die einen von der Stromversorgung aufgeladenen Kondensator über die Erregerwicklung eines Auslösemagneten impulsartig entladen.

1.2. Wirkungsweise der Baugruppen

1.2.1. Strom-Spannungs-Wandler

Die Meßsignalgewinnung bzw. Einspeisung der Stromversorgung für den elektronischen Auslöser erfolgt über ein und denselben Wandlersatz (1 Wandler/Phase). Eine Fremdstromversorgung ist nicht erforderlich.
Die Wandler des elektronischen Auslösesystems haben damit zwei Aufgaben zu erfüllen:

1. Gewinnung der Betriebsspannung bzw. des Betriebsstromes für die Elektronik
2. Gewinnung eines Meßsignals in Form einer dem Primärstrom proportionalen Spannung

1.2.2. Auslöserbaustein

Im Auslöserbaustein ist die gesamte Elektronik, d.h. der Auswerteblock und die Eigenstromversorgung, schaltungstechnisch verknüpft in einem Gehäuse untergebracht.
Das Blockschaltbild des Auswerteblocks zeigt Bild 3.

Überlastschutz

Für den Überstromschutz wird über Wandler aus dem zu überwachenden Strom ein stromproportionales Spannungssignal gewonnen, das durch Quadrierung in ein dem Stromquadrat proportionales Spannungssignal umgeformt wird. Dieses Signal wird einem *R-C*-Netzwerk zugeführt, welches das thermische Abbild des Verbrauchers nachbildet und die „Gedächtnisfunktion" garantiert. Mit der „Gedächtnisfunktion" wird die thermische Vorbelastung bei intermittierendem Betrieb berücksichtigt. Die Ausgangsspannung des *R-C*-Gliedes wird von einem Schwellwertschalter überwacht, der ein Signal an das elektromechanische Auslöseglied des Schalters abgibt, wenn ein vorbestimmter Wert überschritten wird.
Die Quadrierung erfolgt mittels eines steuerbaren Zweifachintegrators, dessen Integrationszeit von einem Impulsgeber gesteuert wird, wobei die Impulsbreite dem zu überwachenden Strom proportional ist.

Kurzschlußschutz mit Zeitselektivität

Der unverzögerte Kurzschlußschutz wird durch einen Schwellwertschalter realisiert, der bei Ansprechen unverzögert ein Signal an das

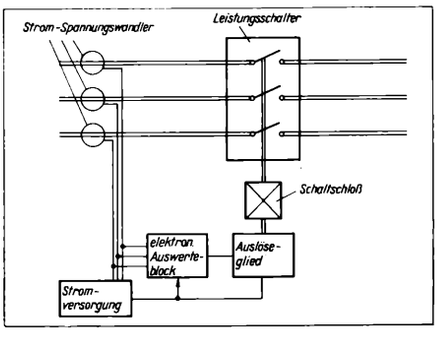


Bild 1. Grundprinzip des elektronischen Auslösers

Bild 2 Auslösekennlinie und Einstellmöglichkeit des elektronischen Auslösers

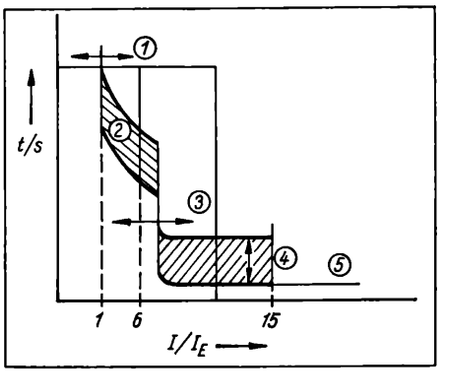
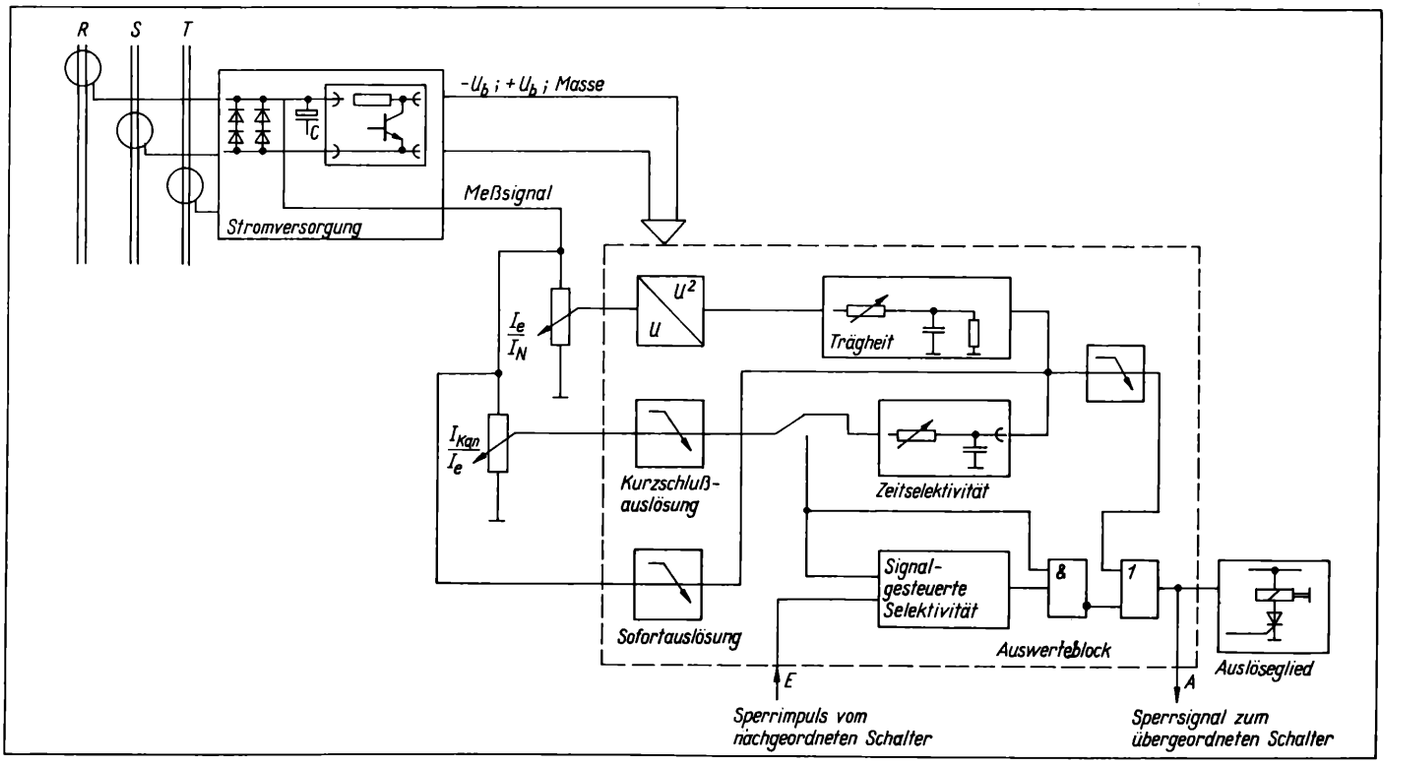


Bild 3. Blockschaltbild des elektronischen Auslösers ▼



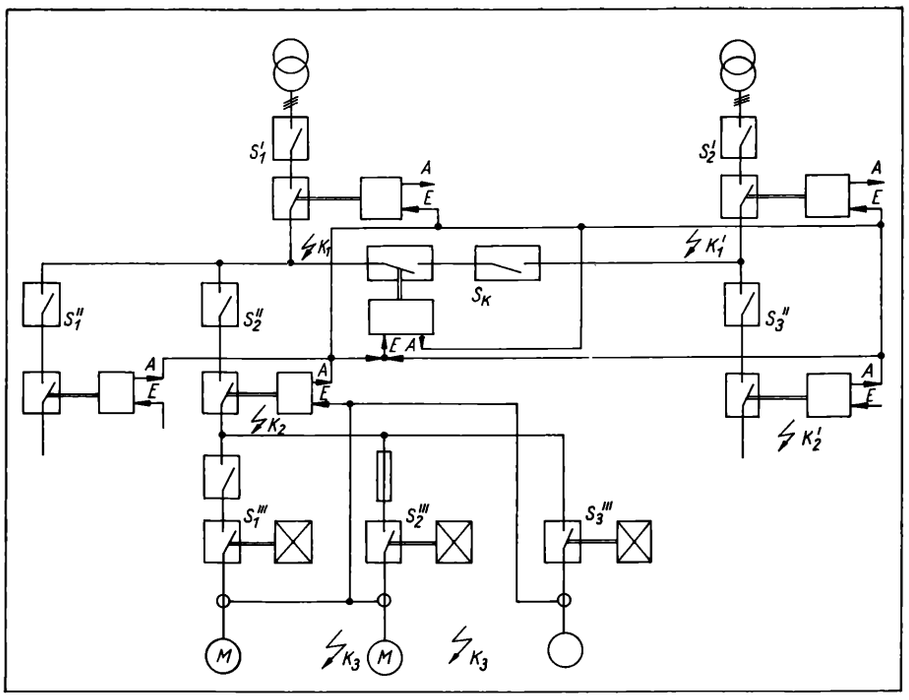


Bild 4. NS-Energieverteilung mit Selektivschutz durch Signalsteuerung

Auslöseglied abgibt. Bei verzögertem Kurzschlußschutz, d.h. Selektivschutz auf Basis Zeitselektivität, wird nach Ansprechen des Schwellwertschalters ein Zeitglied eingeschaltet, das das Signal verzögert an das Auslöseglied des Schalters weiterleitet. Damit kann die bekannte Zeitstaffelung mit größer werdenden Auslöseverzögerungszeiten der Leistungsschalter zur Einspeisung hin realisiert werden. Vorteilhaft können dabei gegenüber den bisher verwendeten mechanischen Hemmwerken auf Grund der stetigen Einstellbarkeit im elektronischen Auslöser die Staffelzeiten verkürzt werden, und zwar bei NS-Leistungsschaltern des VEB Kombinat Elektro-Apparate-Werke Berlin „Friedrich Ebert" um etwa 50%.

Kurzschlußschutz mit Selektivität durch Signalsteuerung

Neben der bekannten Zeitselektivität kommt im elektronischen Auslöser ein neuartiger, signalgesteuerter Selektivschutz zur Anwendung, der die Nachteile der Zeitselektivität vermeidet (u.a. längste Kurzschlußzeiten und damit größte thermische und dynamische Auswirkungen des Kurzschlußstromes in der Nähe der Einspeisung; Spannungseinbrüche in einer Zeitdauer, die zur Auslösung von Schaltern über Unterspannungsauslöser in nicht vom Fehler betroffenen Zweigen führen) und auch für Schalterkombinationen, bestehend aus Leistungsschalter und strombegrenzendem Block, geeignet ist. Dafür verfügt die Auswerteelektronik des Auslösers über einen Informationseingang E, über den sie im Kurzschlußfall Informationen nachgeordneter Schalter erhält und über einen Informationsausgang A, über den sie selbst im Kurzschlußfall Signale für den vorgeordneten Schalter erzeugt (Bild 3).

Der Informationseingang E wird mit den Informationsausgängen A der Auslöser der nachgeordneten Schalter elektrisch verbunden. Bei Eintreffen eines Signals am Eingang E wird die Schaltschloßfreigabe des zugeordneten Schalters für die Dauer einer Kurzschlußausschaltung (etwa 10···30 ms) einmalig gesperrt. Die Reserveschutzfunktion ist nach Ablauf dieser Blockadezeit gewährleistet, da eine wiederholte Sperrung erst nach Ablauf der Erholzeit (0,1···1 s) möglich ist. Die Übernahme der Kurzschlußausschaltung bei Versagen des nachgeordneten Schalters ist also gesichert.

Werden den Leistungsschaltern zur Erhöhung des Schaltvermögens strombegrenzende Blöcke zugeordnet, so erfolgt deren Öffnung unabhängig von der Sperrung des jeweiligen Leistungsschalters. Nach der Kurzschlußunterbrechung gelangen die Kontaktsysteme der strombegrenzenden Blöcke wieder selbständig in ihre Schließstellung. Dabei ist zu garantieren, daß die Rücklaufzeit des strombegrenzenden Kontaktsystems größer als die Ausschaltzeit des zugehörigen Leistungsschalters ist, der als Grundschalter bezeichnet wird.

Das Prinzip dieser Selektivität soll an einer NS-Verteilung (Bild 4) erläutert werden, die aus Schalterkombinationen Block mit Grundschalter aufgebaut ist, wobei der elektronische Auslöser zum Grundschalter gehört.

Kurzschlußort *K1* bzw. *K1* :

Bei Kurzschluß *K1* schaltet der Kuppelschalter S_K aus und sperrt über die Signalleitung die Einspeiseschalter S_1' und S_2'. Für S_1' bleibt nach Ablauf der Blockade der Kurzschluß bestehen, so daß die Ausschaltung von S_1' über die Reserveschutzfunktion erfolgt. Umgekehrt ist es bei Kurzschluß K_1'. Hier schaltet S_2' über die Reserveschutzfunktion, nachdem der Kuppelschalter S_K ausgeschaltet hat. Die Blöcke schalten jeweils mit, kehren aber in die Schließstellung zurück.

Kurzschlußort *K2* bzw. *K2'*:

Bei Kurzschluß *K2* öffnen die Blöcke von S_1', S_2', S_K und S_2'' sowie der Grundschalter S_2''. Gleichzeitig werden Blockadesignale an die Grundschalter S_K, S_1' und S_2' gegeben. Nach Ausschaltung durch den Grundschalter S_2'' kehren die Blöcke in ihre Schließstellung zurück. Analog verläuft die Ausschaltung des Kurzschlußstromes im Fall *K2'*.

Kurzschlußort *K3*:

Die in der Verbraucherebene angeordneten Schalter, die keine elektronischen Auslöser besitzen (z.B. Schalter mit Nennstromstärken unter 250 A), werden mit Signalgebern versehen. Die Signalgeber sind einstellbare Schwellwertschalter, die im Kurzschlußfall ein Blockadesignal an die übergeordneten Schalter S_2'', S_K, S_1' und S_2' geben, so daß auch hier eine selektive Ausschaltung erfolgt. Die an der Ausschaltung beteiligten Blöcke gehen wieder in Schließstellung.

Versagt z.B. ein Schalter der Verbraucherebene (S_1'''—S_3'''), so schaltet nach Ablauf der Blockadezeit und innerhalb der Erholzeit, in der keine erneute Sperrung erfolgt, der Schalter S_2'' als Reserveschutz aus.

Die Selektivität durch Signalsteuerung kann ebenso für eine analoge Energieverteilungsanlage, aufgebaut nur mit Leistungsschaltern, eingesetzt werden.

Ergänzend sei festgestellt, daß im Überlastbereich Selektivität auf Grund der Verschiebbarkeit der Überstrom-Kennlinien ($T = 3···30$ s) mit elektronischen Auslösern möglich ist.

Die Vorteile dieser Lösungsvariante sind:

- Erzielung von Selektivität bei gleichzeitiger Ausnutzung der vorteilhaften strombegrenzenden Kurzschlußstromausschaltung
- Kurzzeitige Kurzschlußstrombelastung und kurze Ausschaltzeiten
- Minimale Spannungsbeeinflussung ungestörter Anlagenteile (Amplitude und Dauer der Spannungsabsenkung)
- Sicherung der Reserveschutzfunktion

1.2.3. Stromversorgung

Das Grundprinzip der Stromversorgung enthält ebenfalls das Blockschaltbild in Bild 3.

Für die Stromversorgung des elektronischen Auswerteblocks werden zwei gegenüber Masse symmetrische Betriebsspannungen (± 15 V) benötigt. Die dafür erforderliche Wechselspannung wird mittels Strom-Spannungswandler gewonnen, dessen Ausgangsspannung mittels Graetzbrücken gleichgerichtet wird. Die Graetzbrücken sind gleichstromseitig miteinander verbunden. Parallel dazu ist der Kondensator C geschaltet. Die über C entstehende unstabilisierte Gleichspannung wird mittels einer entsprechenden Schaltung stabilisiert. Aus dieser stabilisierten Spannung werden zwei stabilisierte Spannungen und das Massepotential für den elektronischen Auswerteblock abgeleitet.

1.2.4. Auslöseglied

Das Auslöseglied für den elektronischen Auslöser zur Schaltschloßfreigabe besteht im Prinzip aus einem elektromagnetischen Arbeitsstromauslöser, einem Energiespeicher und einer Wiedereinschaltsperre, die nach Auslösung des Leistungsschalters im Fehlerfalle wirksam wird. Es ist konstruktiv auf einer Blechplatine angeordnet.

3. Schlußfolgerungen

Der mit seiner beschriebenen Schutzfunktion vorliegende elektronische Auslöser kann sowohl für Leistungsschalter in offener als auch in Kompaktbauweise angewendet werden.
Der elektronische Auslöser besitzt gegenüber konventionellen Auslösern sowohl technische als auch ökonomische Vorteile:

Technische Vorteile

- bessere Anpassung an Schutzbedürfnisse der Verbraucher
- bessere Reproduzierbarkeit vorgegebener Auslösekennlinien
- umfangreiche und stetige Einstellmöglichkeiten der Schutzbereiche (Überlast-, Kurzschluß-, Selektivschutz)
- zuverlässiger Schutz mit der signalgesteuerten Selektivität
- Prüfung der Funktionstüchtigkeit beim Hersteller und Anwender mittels Prüfgerät möglich, das Schutzfunktionen simuliert
- gemeinsamer elektronischer Baustein für eine Schalterreihe möglich

Ökonomische Vorteile

- Arbeitszeiteinsparung im Fertigungsablauf
- Senkung der Prüf- und Eichzeiten und dabei Senkung des Energieverbrauchs beim Prüfvorgang durch Einsatz eines Prüfgerätes anstelle von Hochstrombelastung.

Mit dem beschriebenen elektronischen Auslöser kann ein Schutz von NS-Energieverteilungsanlagen realisiert werden, unabhängig davon, ob als Schalteinrichtung konventionelle Leistungsschalter oder Schaltkombinationen mit strombegrenzenden Blöcken verwendet werden.

Literatur

[1] Überstromauslöseeinrichtung. WP 140521 H 02 H 3/08 Anm.: *W. Wernecke* AT: 13. 11. 78
[2] Einrichtung zum selektiven Kurzschlußschutz zwischen Leistungsschaltern und Strombegrenzungseinrichtungen. WP 155372 H 02 H 7/26.: Anm.: *J. Keitel* AT: 17. 11. 80
[3] Einrichtung zum selektiven Kurzschlußschutz in parallelgespeisten Energieverteilungsanlagen. WP H 02 H/239448.4 Anm.: *J. Keitel; F. Beer* At: 2. 3. 83
[4] Signalgeber für selektiven Kurzschlußschutz. WP H 02 H/239889.8 Anm.: *J. Keitel, F. Beer, W. Wernecke, J. Czinczoll* AT: 17. 5. 82
[5] Elektronischer Auslöser für Niederspannungs-Schaltgeräte. WP H 02 H/231353.2 Anm.: *F. Beer, J. Keitel, W. Wernecke* AT: 1. 7. 81

EA 5344

Haben Sie Interesse, eine Tätigkeit in unserem Verlag aufzunehmen?
Wir bieten einem

Diplomingenieur der Elektrotechnik

möglichst mit Berufserfahrung auf dem Gebiet der Starkstromtechnik, eine vielseitige, interessante Arbeitsmöglichkeit als Lektor.
Das Arbeitsgebiet umfaßt die Entwicklung und Bearbeitung von Fachbüchern der Starkstromtechnik.

Wenn Sie diese Aufgabe reizt, wenden Sie sich bitte direkt an den

VEB Verlag Technik — Abteilung Elektrotechnik
1020 Berlin — Tel. 287 03 30
Oranienburger Straße 13/14 — 287 03 37

Kurze Staffelzeiten mit elektronischen Schutzrelais

L. Gegner, KDT; M. Kühnel, KDT, Berlin

Kennzeichnend für die neue Generation der Relaisschutztechnik ist die Verwendung von elektronischen Schaltungen, die es vor allem ermöglichen, die Anwenderforderungen in bezug auf Zuverlässigkeit, Wartung, Servicefreundlichkeit und lange Lebensdauer positiv zu berücksichtigen. Gegenwärtig stehen etwa 45 verschiedene Baugruppen und über 20 Gerätetypen mit zahlreichen Modifikationen zur Anwendung als Überstromzeitschutz (1polig, 3polig, 4polig), Überstromrichtungszeitschutz (1polig, 3polig), Spannungszeitschutz, Distanzschutz, Differentialschutz, unabhängiger Motorschutz, Automatik zur Realisierung ein- und zweimaliger Wiedereinschaltungen (AWE) zur Verfügung. Die nachfolgenden Darlegungen sollen zeigen, wie mit Hilfe der elektronischen Geräte kürzere Staffelzeiten erreichbar sind als mit den veralteten elektromechanischen Schutzrelais.

1. Die elektronische Stromanregung

Der prinzipielle Aufbau einer elektronischen Stromanregung, die die zu überwachenden Ströme exakt kontrolliert und im Fehlerfalle entsprechende Ausgangssignale sehr schnell erzeugt, ist im Bild 1 gezeigt.
Der Einstellbereich einer Stromanregebaugruppe besitzt einen Umfang im Verhältnis „unterer Einstellwert" zu „oberer Einstellwert" von 1:4. Durch die unterschiedlichen Varianten der Stromanregungen sind Einstellwerte von 80 mA bis 3,2 A für einpolige und 0,8 bis 6,4 A für dreipolige Überstromanregungen realisierbar.
Mit derselben Baugruppe kann auch eine Überwachung und Bewertung von Kurzschlußströmen in einem besonderen Einstellbereich vorgenommen werden, der je nach Ausführung dem 6,25- oder 12,5fachen des Überstrom-Einstellbereiches entspricht.
Die schaltungstechnische Erfassung dieser Kurzschlußströme erfolgt ähnlich wie für die Überströme, jedoch werden hier die Spitzenwerte kontrolliert, wobei eine interne Verzögerung um 50 ms das Ansprechen des Ausgangsrelais der Hochstrom- oder Kurzschlußstromstufe auf zufällige, einmalige Spannungsspitzen verhindert. Das Rückgangsverhältnis der Überstromstufe wurde $\geqq 0{,}97$, das der Hochstromstufe $\geqq 0{,}85$ gewählt.

Zur Anwendung werden angeboten:

- Stromanregungsbaugruppen, 1polig, für Überstrom und Hochstrom
- Stromanregungsbaugruppen, 3polig, für Überstrom und Hochstrom.

Die Hochstromanregung kann beim Hersteller abgerüstet werden.

2. Die elektronische Zeitstufe

Zur Verwirklichung der in Schutzrelais benötigten Signalaufzeiten wird eine schaltungstechnische Variante hergestellt, die eine hohe Genauigkeit, geringe Streuung und hohe Zuverlässigkeit bietet. Es handelt sich dabei um eine analog wirkende elektronische Zeitstufe, die auf dem Prinzip der Konstantstromaufladung eines RC-Gliedes beruht (Bild 2).
Durch ein Startsignal (z.B. ein Stromanregungssignal) wird über einen Kontakt die Konstantstromquelle I_K an die Betriebsspannung gelegt, wodurch die RC-Kombination durch einen je Zeiteinheit konstanten nierigen Strom aufgeladen wird. Die Spannung am RC-Glied wird durch einen Schwellwertschalter S kontrolliert und bewirkt bei Überschreitung des eingestellten Schwellwertes über einen Verstärker V das Ansprechen des Ausgangsrelais R_A.
Die Einstellung der Aufladezeit erfolgt mit Hilfe von Programmierstiften auf der Frontplatte der Baugruppe durch Veränderung des Widerstandes R.

Dipl.-Ing. *Lothar Gegner* ist Gruppenleiter, Dipl.-Phys. *Manfred Kühnel* ist Abteilungsleiter im Zentrum für Forschung und Technologie des VEB Elektro-Apparate-Werke Berlin-Treptow „Friedrich Ebert", Abteilung Schutztechnik.

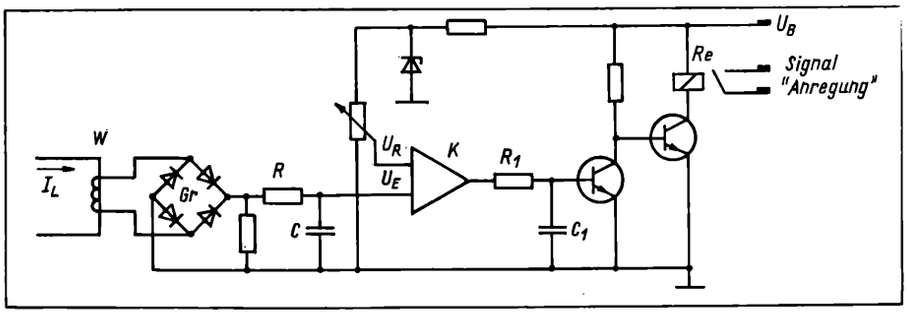
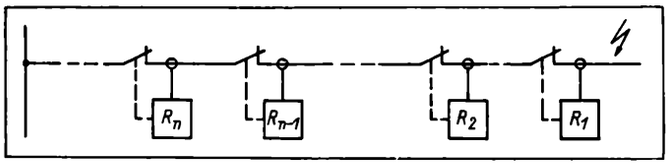


Bild 1. Prinzipschaltung für elektronische Stromanregung ▲

Bild 4. Staffelplan für einen Abzweig ▼



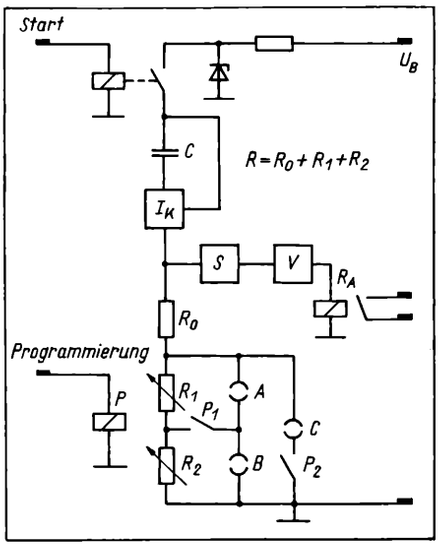


Bild 2
Prinzipschaltung für eine elektronische Zeitstufe ▶

Durch eine günstige Gestaltung der Widerstandskette R und das Einführen bestimmter Programmierungsmöglichkeiten können mit Hilfe dieser Zeitstufe zwei unterschiedliche Verzögerungszeiten erzeugt werden (von 50 ms bis maximal 16 s).

So kann beispielsweise durch eine Überstromanregung $I >$ der Start der Zeitstufe für eine Zeit $t_{I>}$ erfolgen, während durch eine Hochstromanregung $I \gg$ der Start der Zeitstufe für eine Zeit $t_{I\gg}$ möglich ist, wobei $t_{I>} > t_{I\gg}$ oder $t_{I>} < t_{I\gg}$ sein kann. Als Gesamtzeit vom Auftreten eines Fehlers im Netz bis zur Abgabe eines Aus-Signals durch die Zeitstufe ergibt sich

- bei Überstromanregung $I > : t_{I>} = 20 \text{ ms} + t$
- bei Hochstromanregung $I \gg : t_{I\gg} = 50 \text{ ms} + t'$.

Die Einstellung der Verzögerungszeiten t bzw. t' erfolgt an der Zeitstufe.

3. Geräte der elektronischen Schutztechnik

Die Geräte der elektronischen Schutztechnik werden aus verschiedenen steckbaren Baugruppen aufgebaut, wobei neben den hier erläuterten noch weitere Baugruppen eingesetzt werden, die bestimmte Funktionen innerhalb der Schutzgeräte verwirklichen helfen: wie logische Verknüpfungen, Anzeige, Zählung, Signalausgabe usw. Jedes Gerät der neuen Generation enthält eine spezielle Prüfsteckdose, an welche die Strom- und Spannungsleitungen aus der zu schützenden Anlage angeschlossen werden. Durch einen Prüfhandgriff können diese Leitungen vom Schutzgerät abgetrennt werden. Entsprechende Zuleitungen gestatten die Einspeisung von Strom- und Spannungssignalen über diesen Prüfhandgriff zum Zwecke der Funktionsprüfung der Schutzeinrichtung.

Andere Zuleitungen (Stromversorgung, Steuersignale, Meldesignale u.a.) werden über eine besondere 30polige Buchsenleiste geführt, die als „Übergabebuchsenleiste" bezeichnet wird. Ein besonderer Adapterstecker gestattet die Kontrolle aller dieser Signale an der Übergabebuchsenleiste während des Betriebes [2]. Die Gesamtansicht eines elektronischen Schutzgerätes zeigt Bild 3. Alle Gerätevarianten sind prinzipiell mit einer Prüfsteckdose, einer Übergabebuchsenleiste und einer elektronischen Anzeige (Baugruppe mit Lumineszenzdioden) versehen.

4. Berechnung der Staffelzeiten

Ein Hauptanwendungsgebiet für Schutzrelais stellt die selektive Fehlerabschaltung auf längeren Leitungen bzw. bei aufeinanderfolgenden Leitungsabschnitten dar. Dabei müssen die Verzögerungszeiten der einzelnen Schutzrelais im Netzverband so koordiniert sein, daß nur der Leistungsschalter eine Ausschaltung vornimmt, der dem Fehlerort am nächsten liegt. Auf diese Weise werden die Auswirkungen von Netzfehlern minimiert.

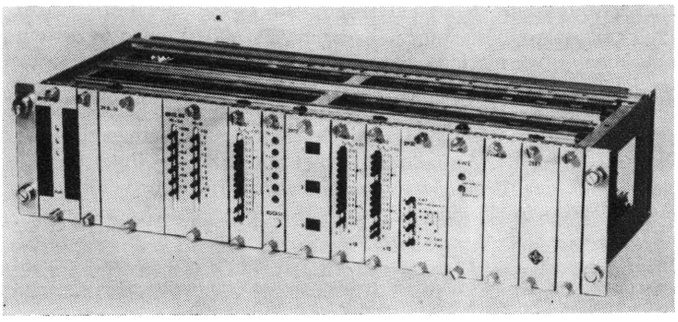
Bei der Anwendung des Staffelprinzips mit Hilfe von unabhängigen Überstromzeitrelais muß die Staffelzeit so gewählt werden, daß die jedem Schutzrelais eigenen Zeiten für das Ansprechen, die Zeitverzögerung und den Rückgang, sowie die Ausschaltzeiten der zugehörigen Leistungsschalter einschließlich der Löschzeit des Lichtbogens unter Berücksichtigung der entsprechenden Toleranzen unabgängig von vor- und nachgeordneten Schutzrelais wirksam werden. Dabei versteht man unter Staffelzeit die Differenz der Zeitverzögerungen zwischen den Schutzeinrichtuneen zweier benachbarter Stationen.

Ein Ziel bei der Entwicklung der elektronischen Schutzgeräte war die Verwirklichung kürzerer Zeitabläufe für die Fehlerausschaltung, um im Kurzschlußfall die thermische Beanspruchung der Anlage auf ein Minimum reduzieren und die Anlage aus materialökonomischer Sicht optimal gestalten zu können.

Zur Darlegung der Möglichkeiten, die der elektronische Schutz bei der Festlegung der Staffelzeiten bietet, sei folgendes angenommen (Bild 4): Der dem Fehler am nächsten liegende Schutz sei R_1, wobei R_1 auf den Leistungsschalter LS_1 wirken soll.

Die Ansprechzeit des Schutzes R_1 ist t_{1an} und beträgt $\leqq 20$ ms. Damit die Selektivität der Schutzgeräte im Netzverband gewährleistet wird, darf das Schutzgerät R_2 seinen zugehörigen Leistungsschalter LS_2 nicht auslösen, wenn R_1 durch sein Auslösekommando die Ausschaltung von LS_1 ordnungsgemäß veranlaßt hat. Nach der Ausschaltzeit des Leistungsschalters t_{LS} (einschließlich Lichtbogenlöschzeit) ist der Fehlerstrom oder Kurzschlußstrom unterbunden, so daß die Anregung des vorgelagerten Schutzgerätes R_2 und aller weiteren Schutzgeräte zurückgeht.

Bild 3. Gerät 013 Überstromzeitschutz, 3polig, mit 2maliger AWE



Tafel 1. Zeiteinstellungen beim Staffelschutz

Einstellung der Zeitstufen	Staffelzeiten
t_{R1} = 50 ms	
t_{R2} = 200 ms	150 ms
t_{R3} = 400 ms	200 ms
t_{R4} = 600 ms	200 ms
t_{R5} = 800 ms	200 ms
t_{R6} = 1000 ms	200 ms
t_{R7} = 1200 ms (!)	250 ms
t_{R8} = 1450 ms	
usw.	

Bild 5 zeigt in vereinfachter Form ein Schaltdiagramm für die Wirkung der Schutzgeräte R_{n-1} mit Leistungsschalter L_{n-1} und R_n mit LS_n.

Der Strom in einem Leiter übersteige den Einstellwert I_E. Damit erfolgt eine Stromanregung mit den Ansprechzeiten $t_{(n-1)an}$ bzw. t_{nan}, was dann den Start der jeweiligen Zeitstufen zur Folge hat. Nach Ablauf der eingestellten Verzögerungszeit t_{n-1} bzw. t_n wird ein Aus-Signal an den entsprechenden Leistungsschalter gegeben, der nach der Ausschaltzeit t_{LS} den Fehlerstrom abschaltet, wonach dann auch die Stromanregung zurückgeht (Rückgangszeit $t_{rück}$).

Das Schaltdiagramm gilt prinzipiell für alle anderen Schutzgeräte ebenso, nur mit dem Unterschied, daß die jeweils eingestellte Verzögerungszeit t_i andere Werte annehmen muß.

Die Staffelzeit muß also so gewählt werden, daß die Funktionsabläufe benachbarter Schutzgeräte deutlich voneinander getrennt werden, wobei die Toleranzen für die einzelnen Zeitabschnitte zu berücksichtigen sind. Der gesamte Zeitbedarf des Schutzgerätes R_{n-1} bis zum gesicherten Abschalten des Stromes beträgt

$$t_{R(n-1)} = (t_{n-1} \pm \Delta t_{n-1}) + t_{LS} + t_{rück} + 10\ \text{ms}. \qquad (1)$$

Dabei wird davon ausgegangen, daß t_{LS} und $t_{rück}$ für alle Schutzgeräte, die im Staffelplan nacheinander angeordnet sind, die maximalen Werte darstellen. Abweichungen dieser Werte nach kleineren Zeiten hin können sich nur positiv in der Hinsicht auswirken, daß der zeitliche Abstand zum Schalten des vorgelagerten Schutzes größer wird.

Die Ansprechzeit t_{an} ist für die Anregungen der elektronischen Schutzgeräte nahezu gleich und konnte deshalb aus der Zeitrechnung weggelassen werden. (Die Differenzen der einzelnen Stromanregungen wurden bei einer größeren Anzahl von Geräten bei gleichen Anregebedingungen mit ≤ 3 ms ermittelt.) Aus Sicherheitsgründen wird hier noch ein Zuschlag von 10 ms berücksichtigt.

Für R_n muß die Verzögerungszeit t_n so eingestellt werden, daß die Erzeugung des Aus-Signals auch bei ungünstigster Toleranzlage der Zeitstufen in R_{n-1} und R_n theoretisch erst dann erfolgt, wenn bei richtiger Funktion von R_{n-1} die Ausschaltung des Leistungsschalters LS_{n-1} abgeschlossen ist. Im Moment des Ausschaltens von LS_{n-1} geht die Anregung in R_n zurück und der Zeitablauf in der Zeitstufe von R_n wird vor Ablauf der Verzögerungszeit t_n unterbrochen. Der Schutz R_n (und alle anderen Schutzrrelais R_{n+i}) gehen in den Ausgangszustand zurück, ohne daß ein weiterer Leistungsschalter ausgelöst wurde.

Es gilt somit

$$t_{Rn} - \Delta t_{Rn} \geq t_{R(n-1)} + \Delta t_{R(n-1)} + t_{LS} + t_{rück} + 10\ \text{ms}. \qquad (2)$$

Damit erhält man eine Rekursionsformel zur Bestimmung der einzustellenden Zeiten für die einzelnen Schutzgeräte.

- Für das Schutzgerät R_1, das von der Einspeisestelle am weitesten entfernt ist, kann als kürzeste Zeit der Wert $t_1 = 50$ ms mit einem Fehler von $\Delta t_1 = 1{,}5$ ms $\triangleq 3\%$ eingestellt werden.

  Mit diesen Werten erhält man für das Schutzgerät R_2:

  $t_{R2} - \Delta t_{R2} \geq t_{R1} + \Delta t_{R1} + t_{LS} + t_{rück} + 10$ ms,

  und indem man einsetzt $t_{LS} = 90$ ms, $t_{rück} = 40$ ms,

  $t_{Re} - \Delta t_{R2} \geq (50 + 1{,}5 + 90 + 40 + 10)$ ms $\geq 191{,}5$ ms.

  Es kann $t_{R2} = 200$ ms eingestellt werden mit $\Delta t_{R2} = 6$ ms, entsprechend 3% als Toleranz der Zeitstufe, denn es gilt

  $t_{R2} - \Delta t_{R2} = 194$ ms $> 191{,}5$ ms.

- Für R_3 erhält man analog:

  $t_{R3} - \Delta t_{R3} \geq t_{R2} + \Delta t_{R2} + t_{LS} + t_{rück} + 10$ ms
  $\geq (200 + 6 + 90 + 40 + 10)$ ms ≥ 346 ms.

  Einstellung: $t_{R3} = 400$ ms; $\Delta t_{R3} = 12$ ms.

- Für das Schutzgerät R_4 erhält man entsprechend:

  $t_{R4} - \Delta t_{R4} \geq 552$ ms.

  Einstellung: $t_{R4} = 600$ ms; $\Delta t_{R4} = 18$ ms.

- Für das Schutzgerät erhält man:

  $t_{R5} - \Delta t_{R5} \geq 758$ ms.

  Einstellung: $t_{R5} = 800$ ms mit $\Delta t_{R5} = 24$ ms.

- Für das Schutzgerät R_6 erhält man:

  $t_{R6} - \Delta t_{R6} \geq 964$ ms.

  Einstellung: $t_{R6} = 1000$ ms mit $\Delta t_{R6} = 30$ ms.

- Für das Schutzgerät R_7 erhält man:

  $t_{R7} - \Delta t_{R7} \geq 1170$ ms.

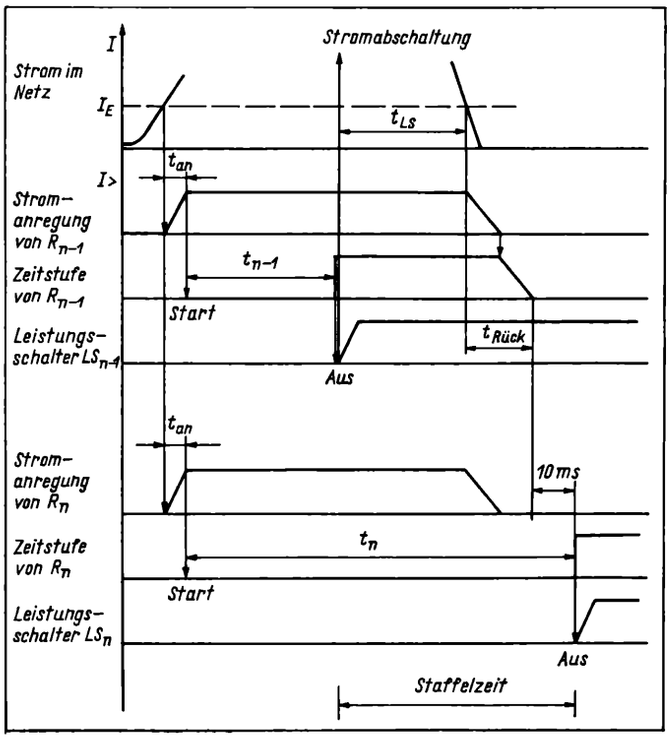


Bild 5. Schaltdiagramm

Mit den in diesem Beispiel getroffenen Festlegungen läßt sich eine Staffelzeit mit $\Delta t = 200$ ms nicht mehr realisieren, es sei denn, man geht ein bestimmtes Risiko ein und verzichtet auf den Sicherheitszuschlag von 10 ms. Man könnte aber auch die Zeiteinstellungen der vorangegangenen Geräte etwas reduzieren, beispielsweise t_{R3} auf 380 ms, t_{R4} auf 580 ms usw. einstellen, um die Ablaufzeit bei R_7 absolut sicher zu gestalten.

Einstellung: $t_{R7} = 1200$ ms mit $\Delta t_{R7} = 36$ ms.

Für das Schutzgerät R_8 läßt sich eine Staffelzeit von 200 ms aber keinesfalls mehr verwirklichen. Um die Bedingungen der Rekursionsformel mit Sicherheit zu erfüllen, müßte man etwa $\Delta t = 250$ms setzen, so daß $t_{R8} = 1450$ ms betragen würde. Die volle Ausnutzung der Möglichkeiten, welche die elektronische Schutztechnik für den gestaffelten Überstromzeitschutz bietet, würde also die Einstellung der Zeitstufen in den aufeinanderfolgenden Schutzgeräten ermöglichen, wie sie Tafel 1 angibt.

Zum Schutz der Anlagenteile gegen thermische Beanspruchungen bzw. um diese Beanspruchungen auf ein Mindestmaß zu beschränken, kann darüber hinaus an der Einspeisestelle die in jeder Stromanregungsbaugruppe vorhandene Hochstromstufe so genutzt werden, daß Nahkurzschlüsse bereits nach 100 ms zur Auslösung des Schalters an der Einspeisestelle führen. Auf Grund der Netzdaten kann ermittelt werden, ob auch in der benachbarten Station die Hochstromstufe des Schutzes noch wirksam gemacht werden sollte. Für diesen Fall ist dann das gleiche Staffelprinzip für die Hochstromstufen anwendbar, um stromintensive Nahkurzschlüsse in kurzer Zeit auszuschalten. Zur weiteren Versorgungssicherheit kann an entscheidenden Punkten des Netzes ein Überstromzeitschutz mit automatischer Wiedereinschaltung (AWE) eingesetzt werden. Solche Schutzgeräte werden ebenfalls angeboten.

5. Zusammenfassung

Die elektronische Schutztechnik bietet neue Möglichkeiten zur Erhöhung der Versorgungssicherheit von elektrischen Netzen. Die Gestaltung eines gestaffelten Überstromzeitschutzes wird erläutert. Dabei sind Staffelzeiten von 150 bis 250 ms je nach dem Ort des Schutzgerätes erreichbar.

Auf die Anwendung der Hochstromanregung zum Zwecke des Schutzes gegen Nahkurzschlüsse wird hingewiesen, so daß insgesamt durch den Einsatz der modernen elektronischen Schutzgeräte ein vielfältiges Spektrum konkreter Aufgaben der Netzschutztechnik gelöst werden kann.

Literatur

[1] *Kühnel, M.:* Überstromzeitschutz in Einschubbauweise – Eine neue Generation der Relaisschutztechnik. Impuls, Dresden 19 (1979) 4, S. 145 – 152

[2] *Kühnel, M.:* Prüftechnik für elektronische Schutzrelais in Einschubbauweise Impuls, Dresden 21 (1981) 4, S. 169 – 174

EA 5350

Zustandssimulation mit Kleinrechnern – Möglichkeiten und Grenzen für die Antriebstechnik

P. Büchner, KDT, Dresden

Die Simulation von Antriebssystemen, d.h., die Gewinnung von Vorausinformationen über das Betriebs- und Havarieverhalten mit Hilfe von Modellen, ist so alt wie die Antriebstechnik selbst.
Im Laufe der Entwicklung konkurrierten stets physikalische Modelle (Einzweck-Laborversuche, universelle Stromrichter- und Netzmodelle) mit mathematischen Modellen (Bilanzgleichungen, Frequenzgänge, Zustandsgleichungen). Mit der Entwicklung leistungsfähiger Analog-, Hybrid- und Digitalrechner standen in den Forschungseinrichtungen Hilfsmittel zur Verfügung, die eine Auflösung der Gleichungen mathematischer Modelle mit vertretbarem Zeit- und Kostenaufwand ermöglichten. Die Fähigkeit zur elektronischen (Analogrechner) oder numerischen (Digitalrechner) Integration führte zur weitgehenden Ablösung der klassischen frequenzorientierten Beschreibung durch die Zustandsbeschreibung [1] [2].
Die gegenwärtig beobachtbare rasche Verbreitung digitaler Kleinrechner an den Arbeitsplätzen der Entwicklungs-, Projektierungs- und Konstruktionsingenieure hat zur Folge, daß in wesentlich breiterem Maße Simulationsuntersuchungen möglich werden, die Grundlage für eine effektive Entwurfsarbeit sind. Über erste Erfahrungen, den Kleinrechnern eigene Besonderheiten und heute noch gültige Grenzen der Zustandssimulation wird an Hand einiger Beispiele berichtet.

1. Vorzüge der Zustandsbeschreibung

Die Methode der Zustandsbeschreibung eignet sich für kontinuierliche und diskontinuierliche Systeme. Das Aufstellen und Umformen der Zustandsgleichungen wird im weiteren als bekannt vorausgesetzt [1], die Vorzüge des Verfahrens gegenüber der frequenzorientierten Beschreibung sollen jedoch zusammengefaßt werden [3]:

1. Antriebssysteme sind meist hybride Strukturen mit kontinuierlich arbeitenden Elementen (Motoren, Netz, analoge Regelungen, Mechanismen) und diskontinuierlich arbeitenden Elementen (Stromrichter, Mikrorechnerregler), die durch analoge, binäre oder digitale physikalische Größen und Signale miteinander in Wechselwirkung treten. Vorzug ist die durchgängige Zustandsbeschreibung für Energie- **und** Signalspeicher.
2. Die Zustandsbeschreibung kann mit einem beliebigen Anfangszustand starten und erreicht (Stabilität vorausgesetzt) stets einen stationären Endzustand.
3. Die Zustandsbeschreibung ist abrüstbar, d.h., durch geeignete Näherungen kann das Gleichungssystem auf ein gewünschtes Kurzzeit- oder Langzeitverhalten beschränkt werden, wodurch die Ordnung des Systems abnimmt.
4. Müssen Drehstromsysteme beschrieben werden, so kann auf die Zusammenfassung der Stranggrößen zum Ortszeiger und Zweikomponentendarstellung übergegangen werden.
5. Bei diskontinuierlicher Arbeitsweise (Ventile, Begrenzung in Regelkreisen) entstehen Systeme mit veränderlicher Struktur, die durch Koeffizientenumschaltung in einem Zustandsmodell oder durch sequentielle Verwendung mehrerer Modelle simuliert wird. Beim Einsatz von Kleinrechnern wird letztere Vorgehensweise bevorzugt. Ein Nachteil der Zustandsbeschreibung besteht darin, daß es nicht möglich ist, frequenzabhängige Parameter nachzubilden (z.B. bei Stromverdrängung). Hier hilft nur die Erweiterung des Systemumfanges durch Einbeziehung der physikalischen Gesetzmäßigkeiten oder eine annehmbare Näherungslösung mit z.B. zeitlich veränderlichen Parametern.

Dr. sc. techn. *Peter Büchner* ist wissenschaftlicher Oberassistent an der Sektion Elektrotechnik, Bereich Elektrische Automatisierungstechnik der TU Dresden.

2. Numerische Integration der Zustandsgleichungen

Kleinrechner besitzen grundsätzlich nur ein Rechenwerk, so daß die numerische Integration der n Zustandsgleichungen seriell erfolgen muß. Für die in der Form

$$\frac{\mathrm{d}\,q_i}{\mathrm{d}\,t} = f_i\,(\boldsymbol{q}\,(t),\ \boldsymbol{u}\,(t),\ t) \qquad (1)$$

gegebene i-te Zustandsgleichung, wobei $\boldsymbol{q}$ der Zustandsvektor mit n Komponenten, $\boldsymbol{u}$ der Eingangsvektor mit m Komponenten ist, zeigt Bild 1 die Lösungskurve $q_i\,(t)$ und die numerisch zu findenden Näherungslösungen $q^*\,(\nu\,\Delta\,t)$ für konstante Schrittweite $\Delta\,t$. Algorithmen mit veränderlicher Schrittweite sollen hier nicht behandelt werden. Während dem Nutzer von Großrechner-Simulationsprogrammen oder Simulationssprachen die Auswahl des Integrationsverfahrens von Software-Spezialisten abgenommen wird, muß er bei Kleinrechnern die Integrationsprogramme vielfach selbst schreiben oder auswählen.
Als Kriterien für die Auswahl können genannt werden [4]:

- Kompliziertheit des Algorithmus mit entsprechenden Folgen für Speicherbedarf und Rechenzeit
- Grenze der numerischen Stabilität und Abhängigkeit des Fehlers von der Schrittweite und der Genauigkeit der Zahlendarstellung
- Möglichkeiten zur Vorgabe eines Fehlers bei selbsttätiger Schrittweitensteuerung oder Überwachung des Fehlers
- Notwendigkeit einer Anlaufrechnung zur Ermittlung der ersten Näherungswerte vor dem Start des Algorithmus.

Da es in diesem Rahmen und aus Gründen der sehr unterschiedlichen Programmierweisen von Kleinrechnern (Tastenprogrammierung, Programmiersprachen u.a. BASIC, PASCAL) unmöglich ist, vollständige Programme vorzustellen, wurde mit Tafel 1 eine Übersicht über gebräuchliche Integrationsverfahren geschaffen, aus der

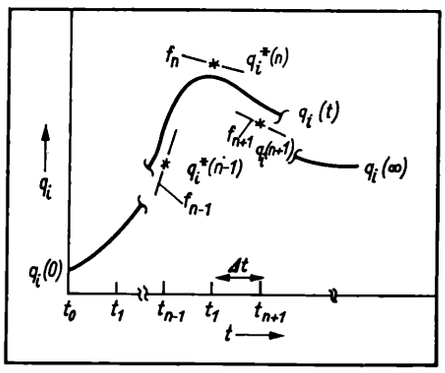
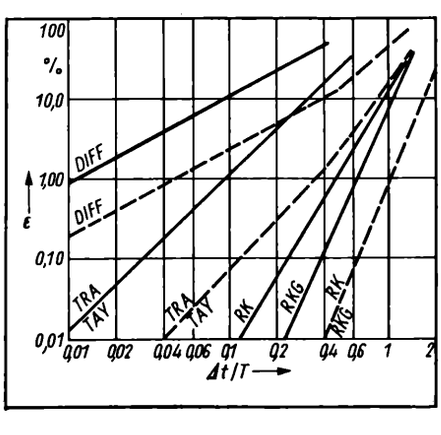


Bild 1
Zur numerischen Integration von Zustandsgleichungen
$q\,(t)$ Lösungskurve der Zustandsgleichung
$q\,(0)$ Anfangszustand, $q\,(\infty)$ – Endzustand
q^* numerisch berechnete Näherungswerte
f Anstieg der Lösungskurve (berechenbar durch Einsetzen des Näherungswertes in die Zustandsgleichung)
$\Delta\,t$ Schrittweite des Integrationsverfahrens

Bild 2. Abweichung zwischen numerischer Integration und Lösungskurve für zwei Testbeispiele



——— ungedämpfte Schwingung
– – – Exponentialfunktion
RKG Runge-Kutta-Gill-Verfahren
RK Runge-Kutta-Verfahren nach Tafel 1
TAY Taylorreihe mit zweiter Ableitung von $q\,(t)$
TRA Trapezverfahren
DIF Differenzenverfahren
T Periodendauer für Schwingungen, Zeitkonstante für Exponentialfunktion

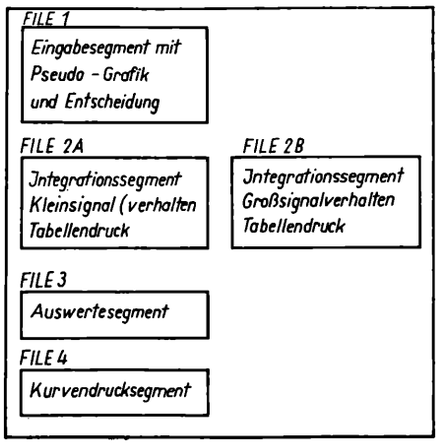
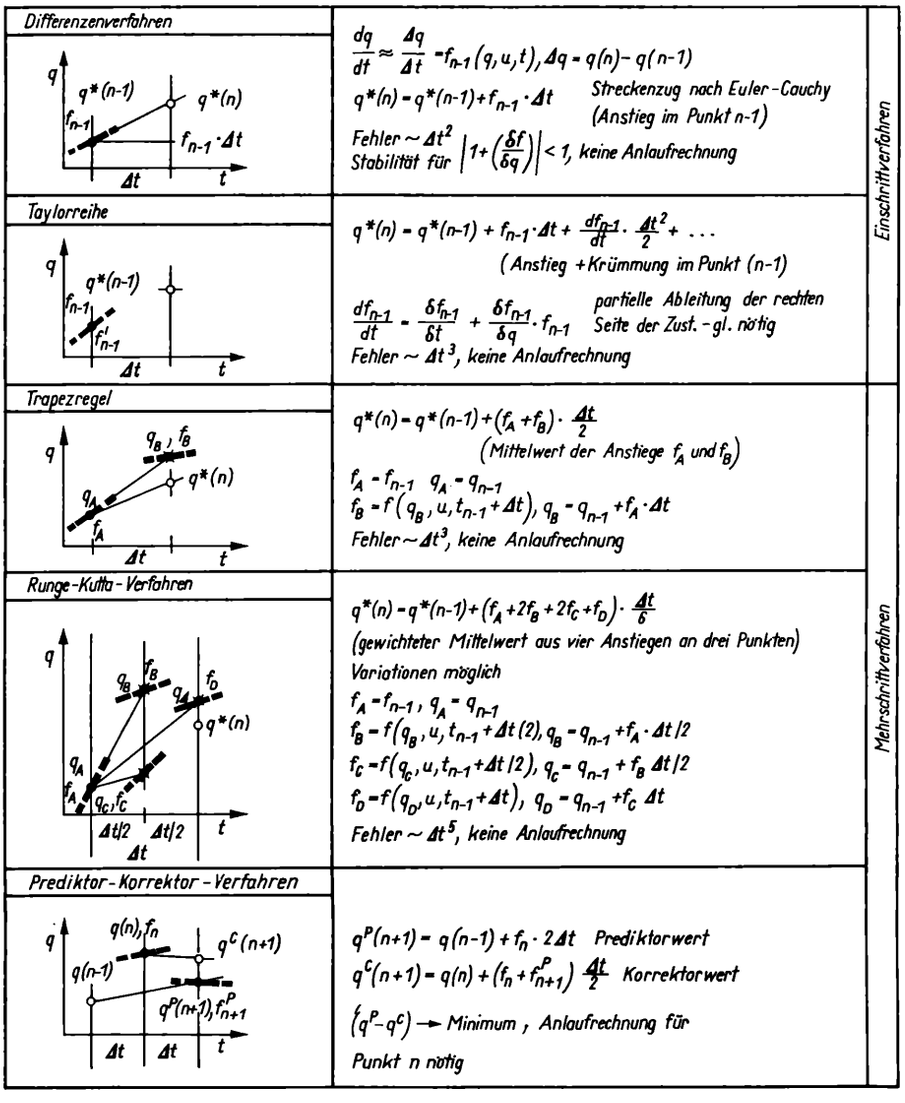


Bild 3
Segmentierung eines Entwurfsprogramms



Tafel 1. Numerische Integrationsverfahren
• Eingangswert × Hilfswert 0 Ausgangswert

die Algorithmen und Besonderheiten zu entnehmen sind. Ergänzend dazu zeigt Bild 2 den Fehler, der sich in Abhängigkeit von Schrittweite und Lösungsverfahren für zwei typische Arten von Lösungskurven ergibt. Es handelt sich um eine aperiodische Lösungskurve (Exponentialfunktion) und eine ungedämpfte Schwingung, deren Zustandsgleichungen mit Hilfe von in BASIC geschriebenen Integrationsprogrammen aufgelöst wurden.
Aus den Fehlerkurven geht recht deutlich der erhebliche Vorteil der Runge-Kutta-Verfahren vor allem bei höheren Genauigkeitsforderungen hervor. Dabei gilt es zu beachten, daß die Schrittweite den praktischen Problemen entsprechend der kleinsten Zeitkonstante oder Periodendauer gewählt werden muß.

3. Eignung von Kleinrechnern für die Zustandssimulation

Die numerische Zustandssimulation kann von jedem programmierbaren Rechner ausgeführt werden, wenn sein Hauptspeicherumfang für Programm und Daten ausreichend groß und die Rechenzeit für die Problemlösung vertretbar ist. Tafel 2 ermöglicht den Vergleich von Kleinrechnern hinsichtlich der Ausrüstung sowie der Programmierweise und gibt Richtlinien für den Einsatz. Quantitativ wird die Aussage von Tafel 2 durch Tafel 3 unterstützt, in welcher der Rechenzeitbedarf pro Zustandsgleichung und Zeitintervall sowie die auf den Rechner K 1003 bezogene effektive Rechenzeit zur Lösung eines Problems mit gleichem Fehler angegeben ist.
Eine weitere wesentliche Verbesserung der Rechengeschwindigkeit kann vom vorgesehenen Einsatz von 16-Bit-Prozessoren und Zusatz-Arithmetik-Schaltkreisen in Bürocomputern erwartet werden.
Im Zusammenhang mit dem verfügbaren Speicherplatz, der gegenwärtig nur die Simulation relativ beschränkter Systeme gestattet, muß der Unterschied zwischen BASIC- und PASCAL-Programmierung beachtet werden. Während die Laufzeit eines in PASCAL eingegebenen Programms erheblich kürzer als beim vergleichbaren BASIC-Programm ist, steht im A5120 nur noch ein recht bescheidener Restspeicher von etwa 4 k zur Verfügung. Auch diese Grenzen werden sich weiter verschieben, so daß jetzt noch erforderliche Programmsegmentierungen entfallen können. Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die Zustandssimulation heute am Arbeitsplatz des Ingenieurs möglich geworden ist, wobei für nachnutzbare und bedienfreundliche Programme wohl nur Kleinrechner

Tafel 2. Vergleich von Kleinrechnern

Art des Rechners	Ausrüstung	Programmierung	Eignung zur Zustandssimulation
Nichtprogrammierbare Tisch- und Taschenrechner	Tasten; Anzeige ev. Streifendrucker	ohne Programm Speicherzugriff	für einfachste Probleme ($n = 2$) Tabellenrechnung mit Differenzenverfahren
Tastenprogrammierbare Tisch- und Taschenrechner (z. B. K 1003)	Tasten, Anzeige Magnetkarten Streifendruck	Tastencode UP-Technik	für sehr einfache Probleme ($n = 3$) Streifendruck $q(t)$ einfache Integrationsverfahren
BASIC-Taschenrechner (z. B. Sharp, Casio)	Tasten, Laufanzeige Magnetkassetten Streifendruck	BASIC	für einfache Probleme ($n \leqq 5$) Streifendruck stark begrenzter Speicherumfang
Heimcomputer (z. B. Z 9001)	Tastatur, Bildschirm, Magnetkassetten	BASIC	für einfache Probleme ($n \leqq 10$) kein Druck beschränkter Speicherumfang
Bürocomputer (z. B. A 5120)	Tastatur, Bildschirm, Minidisketten Formulardrucker	BASIC, PLZ, PASCAL FORTRAN	für mittlere Probleme ($n \leqq 10$) Tabellen- und Kurvendruck Speicherbegrenzung spürbar

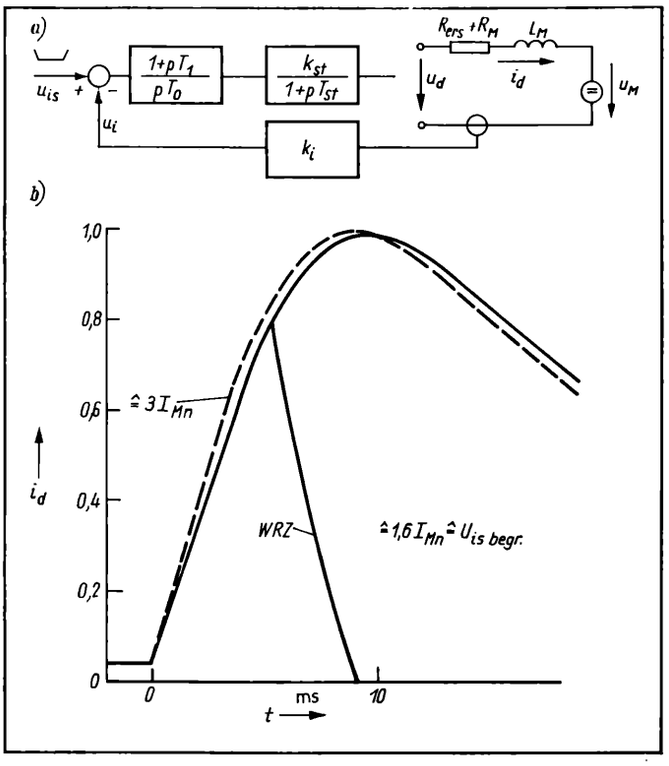


Bild 4. Havarie eines geregelten Gleichstromantriebs
a) Struktur Stromregler, Stellglied, Ankerkreis
b) Zeitverlauf des Gleichstroms (Strombegrenzung 1,6 I_{Mn})
——— numerische Lösung (Δt = 1 ms)
– – – Analogsimulation
WRZ Wechselrichterzwangssteuerung

```
REM *** UP BSYRK
INPUT M% \ Anzahl Zustandsgln.
INPUT Zustandsgln. in UP ZGL
INPUT A,E,H,L% \ tanf, tend, Δt, Druckschrittw.
FOR I% = 1 TOM%
    INPUT B(I%), U(I%) \ Anf.-werte
    Q(I%) := B(I%)
T := A / Start Zeitschritt bis E
    FOR P% = 1 TO L% \ Druckschleife
        GOSUB ZGL / f_A berechnen
        FOR I% = 1 TO M%
            K(I%) := H * F(I%)
            Q(I%) := B(I%) + K(I%) / 2
        T := A + H/2 \ Halbschritt
        GOSUB ZGL \ f_B berechnen
        FOR I% = 1 TO M%
            L(I%) = H * F(I%)
            Q(I%) := B(I%) + L(I%) / 2
        GOSUB ZGL \ f_C berechnen
        FOR I% = 1 TO M%
            M(I%) := H * F(I%)
            Q(I%) := B(I%) + M(I%) / 2
        T := A + H \ Ganzschritt
        GOSUB ZGL \ f_D berechnen
        FOR I% = 1 TO M%
            N(I%) := H * F(I%)
            B(I%) := B(I%) + (K(I%) + L(I%) *
            + M(I%) * 2 + N(I%)) / 6 \ Mittelwert
            IFP% = L%
            PRINT T, B(I%) \ Druck
        A := T \ Schrittvorbereitung
    IF T ≥ E
    RETURN
REM *** UP ZGL
F(1) = -2,5*Q(1) + 0,7*Q(3) + U(1)
F(2) = ....
⋮  ....
RETURN
```

Bild 5
Struktogramm für die Integration von M % Zustandsgleichungen nach RUNGE-KUTTA (vgl. Tafel 1)

ab Niveau Bürocomputer eingesetzt werden sollten. Die im Niveau darunter liegenden Rechner eignen sich vor allem für individuelle Simulationen zur Nutzung durch den Programmierenden.

4. Probleme des Dialogs mit dem Kleinrechner

Mit dem Bürocomputer steht dem Ingenieur erstmals ein Gerät zur Verfügung, das an Nutzerfreundlichkeit an den Komfort eines Großrechners mit Terminalbetrieb anknüpft. Interaktiver Bildschirmdialog und Formulardruck in Tabellen- oder Pseudo-Kurvendarstellung sind einerseits Vorteile für den unmittelbaren Umgang mit der Rechentechnik, andererseits bereiten sie den gerade bei der Zustandssimulation noch vielfach nötigen Umstieg zum Großrechner vor. Die programmtechnischen Aufwendungen zur Schaffung bedienfreundlicher Programme stellen oft einen erheblichen Anteil am Gesamtumfang des Programms dar, so daß bei speicheraufwendigen Algorithmen für den eigentlichen Rechenteil die Grenzen z.B. des A 5120 recht rasch erreicht werden. Da die Zugriffszeit zum externen Speicher in vielen Fällen nicht begrenzend wirkt, kann von der Segmentierung der Programme Gebrauch gemacht werden. Bild 3 zeigt schematisch die Aufteilung eines Entwurfsprogramms in vier Segmente. Zur Auswahlentscheidungshilfe haben sich Menütabellen bewährt, die durch Kursorbewegung oder Ziffereingabe zum gewünschten nächsten Programmsegment führen. Es soll darauf hingewiesen werden, daß sich der Aufwand für die angedeuteten Dialoghilfen nur dann lohnt, wenn das Programm für eine längere Lebensdauer vorgesehen wird oder eine Überführung an Dritte erfolgt. Von außerordentlicher Bedeutung ist es gerade bei Kleinrechnerprogrammen, eine exakte Übereinstimmung von Programm und Programmdokumentation zu gewährleisten. Dadurch, daß der Nutzer z.B. in BASIC sofort in der Lage ist, Programmänderungen einzuführen, wirken sich vergessene Löschungen von Änderungen oder Änderungen der Dokumentation als zeitraubende Fehlerquelle aus.

5. Beispiel: Havarie eines Gleichstromantriebs

Ein geregelter Gleichstromantrieb wird durch mechanische Havarie schlagartig stillgesetzt. Für die im Bild 4a gezeigte Struktur soll das Havarieverhalten berechnet werden, wobei einige Vereinfachungen eingeführt werden, deren Berechtigung im praktischen Fall zu überprüfen ist. Zustandsgrößen werden für den Energiespeicher Ankerinduktivität und die Signalspeicher Verzögerungsglied und PI-Stromregler notwendig. Werden Amplituden und die Zeit wie in der Analogrechentechnik üblich normiert, so lauten die Zustandsgleichungen:

$$\frac{\mathrm{d}\, i_d}{\mathrm{d}\, t} = A\,(u_d - u_M) - B i_d \tag{2}$$

$$\frac{\mathrm{d}\, u_d}{\mathrm{d}\, t} = C\,(y - u_d) \tag{3}$$

$$\frac{\mathrm{d}\, y}{\mathrm{d}\, t} = V_p \frac{\mathrm{d}\,(w - u_i)}{\mathrm{d}\, t} + V_I\,(w - u_i). \tag{4}$$

Zur numerischen Lösung soll das Differenzenverfahren verwendet werden. Die mit einem tastenprogrammierbaren Rechner (z.B. Robotron K 1003) zu lösenden Gleichungen lauten dann mit Zahlenwerten:

$$i_d^{(n)} = 0{,}932\, i_d\,(n-1) + 0{,}191\,[u_d\,(n-1) - u_M\,(n-1)] \tag{5}$$

$$y\,(n) = y\,(n-1) + 0{,}870\,[w\,(n) - i_d\,(n)] - 0{,}811\,[w\,(n-1) - i_d\,(n-1)] \tag{6}$$

$$u_d\,(n) = 0{,}667\, u_d\,(n-1) + 0{,}333\, y\,(n-1). \tag{7}$$

Die Rechnung beginnt mit Anfangswerten, die sich aus den stationären Gleichungen vor der Havarie errechnen lassen. Bild 4b zeigt den Verlauf des Gleichstroms, der numerisch errechnet wurde, im Vergleich zur Analogrechnerlösung, wobei der Unterschied weniger als 10% beträgt. Die im Bild eingetragene Kurve für die Wirkung der Wechselrichterzwangssteuerung bei vorgegebener Laufzeit wurde (durch Zustandsumschaltung) ebenfalls numerisch bestimmt.

Bei noch genauerer Nachbildung des Vorgangs muß die diskontinuierliche Arbeitsweise des Stromrichters beachtet werden.

6. Beispiel Regelverhalten eines Gleichstromantriebes

Für einen mit Strom- und Drehzahlregelung ausgerüsteten fremderregten Gleichstrom-Regelantrieb soll das Regelverhalten simu-

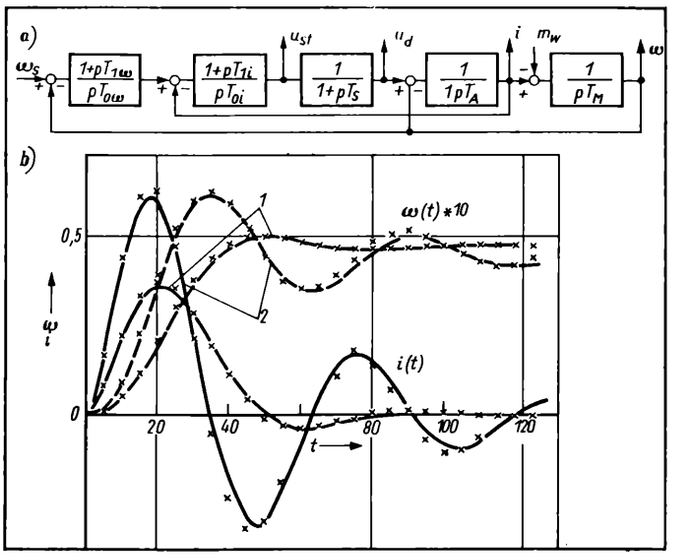


Bild 6. Kleinsignalverhalten eines Regelantriebs
a) Struktur des Systems als Signalflußbild
b) Antwort auf Führungsgrößensprung $\Delta\omega_S = 0{,}047$
(1) betragsoptimale Einstellung
(2) Verdopplung des P-Anteils im Drehzahlregler
××× Kleinrechner
——— Analogrechner

Tafel 3. Mittelwert für die Rechenzeit von Integrationsalgorithmen
t_R in s Zustandsgleichung · Δt (absolute Rechenzeit)
$t_R{}^x$ t_R/t_R (K1003, DIFF) (bezogene Rechenzeit bei gleicher Genauigkeit)

Rechner	Robotron K 1003		Casio fx 802 P		Robotron BC A 5120			
Verfahren	Tastenprogr.		BASIC		BASIC		PASCAL	
Differenzenverfahren	1,29	100 %	0,28	22 %	0,18	14 %	–	–
Trapezverfahren	3,20	38 %	0,54	6 %	0,27	3 %	–	–
Taylorreihe	2,20	26 %	0,34	4 %	0,22	2,6 %	–	–
RUNGE-KUTTA	≈ 7	8 %	0,83	0,9 %	0,40	0,4 %	–	–
RUNGE-KUTTA-GILL	–	–	1,14	1,3 %	0,60	0,6 %	0,26	0,3 %
mögl. Umfang Prog. + Daten	3 kByte		1,5 kByte		14 kByte		4 kByte	
	$t_{R/S}$	$t_R{}^x$	$t_{R/S}$	$t_R{}^x$	$t_{R/S}$	$t_R{}^x$	$t_{R/S}$	$t_R{}^x$

liert werden. Es wird ein Robotron-Bürocomputer A 5120 mit der Sprache BASIC verwendet. Bild 5 zeigt zunächst das nach dem Runge-Kutta-Verfahren aufgestellte Integrationsunterprogramm als Struktogramm, das als Herzstück jeder Zustandsanalyse dienen kann. Die bekannte Regelstruktur des Antriebs zeigt Bild 6a. Als Lösungsbeispiel wird im Bild 6b wieder der numerisch berechnete Einschwingvorgang mit dem am Analogrechner berechneten verglichen. Die Übereinstimmung ist bei der gewählten Schrittweite $\Delta t = 5$ ms praktisch ausreichend. Mit geringfügigen Programmerweiterungen ist auch die Simulation des Großsignalverhaltens, des Verhaltens bei Lageregelung und mit weiteren Meßgliedverzögerungen möglich. Die Auswirkungen beliebiger Reglereinstellungen sind im Dialog mit dem Programm zu studieren. Wegen des bekannten physikalisch kybernetischen Hintergrundes eignet sich das Programm besonders für die Ausbildung von Studenten.

7. Problemkreise mit Simulationsaufgaben

Neben dem Einsatz in der Ausbildung erweisen sich die beschriebenen Simulationsmöglichkeiten im Sinne von CAD (computer aided design) für den Entwicklungs- und Projektierungsingenieur automatisierter Elektroantriebe auf folgenden Teilgebieten als erfolgversprechendes Hilfsmittel:

1. Zusammenwirken des Motors mit Mechanismen unter Beachtung verteilter Massen und nichtidealer Kopplungen
2. Auslegung der Ventilschaltungen von Stromrichter-Stellgliedern unter Beachtung nichtidealer Bauelementeeigenschaften
3. Auslegung analoger und digitaler Regelungen
4. Zusammenwirken des Antriebssystems mit dem speisenden Netz unter Beachtung der Wirkung von Kompensationseinrichtungen.

Zum Problemkreis 2 muß bemerkt werden, daß gegenwärtig nur sehr einfache Stromrichter (Pulssteller, Wechselstromsteller, Zweipulsgleichrichter) mit Kleinrechnern simuliert werden können. Universelle Netzwerkanalyseprogramme mit Ventilzweigen im Sinne von [5] sind nach wie vor ein Fall für schnelle Großrechner. Für die im Abschn. 3. genannte Analyse digitaler Regelungen bietet sich folgende Vorgehensweise an: Der Mikrorechnerregler wird über ein Assemblerprogramm auf dem Bürocomputer entwickelt. Die Regelstrecke wird über Zustandsgleichungen simuliert, wobei die Rechenschrittweite mit der Abtastzeit des Regelalgorithmus in Übereinstimmung gebracht werden muß. Da die numerische Integration ein Vielfaches der Echtzeit benötigt, ist das wechselseitige Starten von Regel- und Streckenalgorithmus zu organisieren, um eine zeitgedehnte Simulation des Regelverhaltens durchzuführen. Mit solchen Problemen ist dann die Nahtstelle erreicht, an der die analoge Echtzeitsimulation ihre Bedeutung behalten wird [3].

Literatur

[1] *Schönfeld, R.:* Grundlagen der automatischen Steuerung – Leitfaden und Aufgaben aus der Elektrotechnik. Berlin: VEB Verlag Technik 1984
[2] *Büchner, P.:* Zustandsbeschreibung und Ortszeigerdarstellung für Drehstrom-Stromrichtersysteme. ELEKTRIE, Berlin 36 (1982) 2, S. 68 – 71
[3] *Schönfeld, R.; Büchner, P.:* Demonstration kontinuierlicher und diskontinuierlicher Antriebsregelungen mit dem iterativen Analogrechner. ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 3, S. 85 – 89
[4] *Rajaraman, V.:* Computer Oriented Numerical Methods. New Delhi: Prentice Hall of India (1983)
[5] *Völker, K.-D.:* Probleme der Entwicklung eines Programms zur digitalen Simulation elektrischer Antriebssysteme und seine Anwendung zur Untersuchung einiger Störungen in netzgeführten Stromrichter-Stellgliedern. Diss. A, Dresden: Technische Universität (1974)

EA 5529

Wir empfehlen aus dem VEB Verlag Technik

Grundlagen der elektrischen Antriebstechnik mit Berechnungsbeispielen

Von *J. Vogel* u.a. Berlin: VEB Verlag Technik, 3., bearbeitete Auflage 1983. Hochschullehrbuch. 404 Seiten, 274 Bilder, 51 Tafeln, Kunstleder 25,50 Mark.

Bestell-Nr. 553 0654

Das Lehrbuch ist für die Ausbildung von Elektroingenieuren im Fach „Elektrische Antriebe" an Hoch- und Fachschulen sowie von Maschinenbauingenieuren verschiedener Fachrichtungen konzipiert und hat sich bisher ausgezeichnet bewährt. An nunmehr über 100 Berechnungsbeispielen wird die Anwendung der gesetzmäßigen Zusammenhänge auf die Praxis demonstriert, und es werden die vom Ingenieur zu treffenden Entscheidungen nach technisch-ökonomischen Zielsetzungen verdeutlicht. Neben den Gebieten der Elektrotechnik und Elektronik werden auch Fragen der Steuerungs- und Regelungstechnik berührt. Verschiedentlich wird auf Grundkenntnisse über die anzutreibenden Arbeitsmaschinen wie auch über den Prozeßablauf selbst zurückgegriffen.
Der inhaltliche Aufbau ist nach methodischen Ausbildungsgesichtspunkten gestaltet. Wie es sich auch bei der Lösung praktischer Aufgaben bewährt hat, wird in der Reihenfolge — Ermittlung der Anforderungen aus dem technologischen Prozeß — Bestimmung der Anlagenstruktur — Auswahl und Dimensionierung der Anlage — vorgegangen. Bei der Stoffauswahl wurden die bei der Ausbildung von Studenten verschiedener Disziplinen und die aus der Zusammenarbeit mit der Anwenderindustrie gesammelten Erfahrungen mit einbezogen.
Die Bearbeitung für die dritte Auflage führte zu einer inhaltlichen Aktualisierung und Erweiterung des Stoffes gemäß neuen wissenschaftlich-technischen Erkenntnissen und Anregungen von Nutzern des Lehrbuches. Sie betreffen u.a. die Dynamik der Drehstrommaschinen, die Optimierung von Antriebssystemen, die Kupplungen, Netzrückwirkungen und Einsatzmöglichkeiten der Mikroelektronik für die Steuerung und Regelung elektrischer Antriebe.

Die Redaktion

Simulation von Schaltungen der Leistungselektronik mit Hilfe programmierbarer Kleinstrechner Teil 2

F. Fischer, KDT, Dresden; W. Retzlaff, KDT, Berlin

Programmierbare Tisch- und Taschenrechner sowie Heim- und Personalcomputer eröffnen auch für die digitale Simulation von Schaltungen der Leistungselektronik neue Möglichkeiten. Im vorliegenden zweiten Teil[1]) der Artikelserie werden einige praktikable Integrationsverfahren erläutert. Ein BASIC-Simulationsprogramm wird vorgestellt, dessen Unterprogramme auf die Untersuchung der jeweiligen Schaltung ausgelegt werden können. Rechner mit Bildschirm lassen Ausgabemöglichkeiten zu, die dem praxiserfahrenen Ingenieur besonders vertraut sind. Als Beispiel wird auf die Darstellung der Simulationsergebnisse in Form von Oszillogrammen eingegangen.

1.2. Verfahren höherer Ordnung

Genauere Verfahren sehen im Zuge eines Integrationsschrittes die Bestimmung weiterer Funktionswerte vor. Zur Veranschaulichung wird wiederum das Beispiel des Parallelschwingkreises (Abschn. 1.1.) verwendet.

Die Anfangswerte von Induktorstrom und Kondensatorspannung waren i_0 und u_0. Die Zuwächse Δi und Δu gemäß Gl. (5) und (6) werden nun zu Zwischenergebnissen

$$K_{11} = u_0 \, \Delta t/L$$
$$K_{12} = -\, i_0 \, \Delta t/C. \tag{7}$$

Das **modifizierte *Euler*-Verfahren 2. Ordnung** [48] erfordert zusätzlich zu Gl. (7) eine zweite Funktionsauswertung auf der Grundlage der mit $Q_2 = 1$ bewerteten Ergebnisse der elementaren *Euler*-Methode:

$$K_{21} = (u_0 + Q_2 \, K_{11}) \, \Delta t/L \tag{8}$$
$$K_{22} = -\,(i_0 + Q_2 \, K_{12}) \, \Delta t/C.$$

Der Zuwachs des Integrationsschrittes ergibt sich als gewichtetes Mittel der Einzelwerte

$$\Delta u = P_1 \, K_{11} + P_2 \, K_{12} \tag{9}$$
$$\Delta i = P_1 \, K_{21} + P_2 \, K_{22}.$$

Für das genannte Verfahren gilt $P_1 = 1/2$ und $P_2 = 1/2$.

Der Koeffizient Q_1 ist stets Null, da die erste Auswertung eines Schrittes allein von dessen Anfangsbedingungen ausgeht.

Ein **Verfahren 3. Ordnung nach *Heun*** [50] sieht die Bestimmung dreier Zwischenergebnisse vor. Anschließend an die Gln. (7) und (8) ist zu berechnen:

$$K_{31} = (u_0 + Q_3 \, K_{21}) \, \Delta t/L \tag{10}$$
$$K_{32} = -\,(i_0 + Q_3 \, K_{22}) \, \Delta t/C.$$

Die gewichtete Aufsummierung

$$\Delta u = P_1 \, K_{11} + P_2 \, K_{21} + P_3 \, K_{31} \tag{11}$$
$$\Delta i = P_1 \, K_{12} + P_2 \, K_{22} + P_3 \, K_{32}$$

enthält hier die Faktoren $P_1 = 1/4$, $P_2 = 0$, $P_3 = 3/4$.

Wie aus den Beispielen ersichtlich, sind die Variablen und Koeffizienten der Gleichungen nicht zeitabhängig. Diese Zeitinvarianz der Differentialgleichungen *innerhalb* eines Integrationsschrittes ist für die Schaltungssimulation in der Leistungselektronik charakteristisch. Alle Veränderungen in Struktur oder Parametern der Schaltung, hervorgerufen z.B. durch

- das Schalten von Ventilen,
- Induktivitätsveränderungen sättigbarer Drosseln,
- das Aufprägen einer Wechselspannung

werden an den *Grenzen* der Integrationsintervalle verarbeitet. Diese Gegebenheit bildet auch einen wesentlichen Grund für die hier bevorzugte Verwendung von Einschrittverfahren.

Das Schema läßt sich auf Verfahren höherer Ordnung und auf größere DGL-Systeme erweitern. Die Programmierung erfolgt deshalb als verallgemeinerte Rechenvorschrift für die Behandlung eines Systems von ND Differentialgleichungen 1. Ordnung mit einem Verfahren der Ordnung NV.

Tafel 2 enthält hierzu zusammenfassend die Q und P typischer Verfahren. Die Art der Bestimmung dieser Koeffizienten kann der Literatur [49] bis [52] entnommen werden. Weitere Verfahrensvarianten sind u.a. in [60] bis [62] aufgeführt.

2. Simulationsprogramm

Ein entsprechender Algorithmus bildet das Kernstück eines universellen Simulationsprogrammes, dessen BASIC-Text in Tafel 3 angegeben ist. Spezielle Angaben zur Schaltung und zur gewünschten Art der Darstellung der Ergebnisse werden in Unterprogramme (3000 bis 7000) und in die zugehörigen Bereiche für die Anfangszuweisungen (1300 bis 1700) eingetragen. In Tafel 4 stehen diese Programmzeilen für das betrachtete Beispiel.

Anfangszuweisungen

Mit Zeile 1200 wird die Ordnung des gewählten Verfahrens NV vorgegeben. Zeile 1210 enthält als DATA-Liste die Faktoren des Verfahrens in der Reihenfolge Q_1, P_1, Q_2, P_2, $\cdots Q_{NV}$, P_{NV}.

In Zeile 1220 ist die aktuelle Zahl der Differentialgleichungen 1. Ordnung einzutragen. Für das Abspeichern der ND Variablen und Zwischenwerte während der Integrationsrechnung sind vier eindimensionale Felder erforderlich, die mit F, Y, K und S bezeichnet werden (Zeilen 1230 bis 1260). Das Feld F enthält die Zustandsvariablen. In Y stehen die für die Teilrechnungen erforderlichen aktuellen Funktionswerte. Die Zuwächse werden in K festgehalten und in S gewichtet aufsummiert.

Mit Zeile 1270 wird die Integrationsschrittweite DT festgelegt, anschließend die Zeit T nullgesetzt.

In den Zeilen 1700 bis 1730 werden schaltungsspezifische Anfangszuweisungen vorgenommen. Die Anfangsbedingungen sind $i_0 = F(1) = 0$ und $u_0 = F(2) = 100$ V. Die Bauelemente besitzen nach Abschn. 1.1. die Werte $L = 1$ mH und $C = 25\ \mu$F.

Unterprogramme

Das Unterprogramm AUSGABE verwendet zunächst nur einen allgemeinen PRINT-Befehl, der nach den Gegebenheiten des verwendeten Rechners zu modifizieren ist. Die Unterprogramme STG, QUELLE und VENTILE bleiben z.Z. noch unbelegt (Zeilen 4000 bis 6999). Das Unterprogramm DGL enthält die Differentialgleichungen.

Integrationsschleife

Der Integrationszyklus selbst ist in den Zeilen 2050 bis 2200 enthalten. Zu Beginn eines Schrittes wird der Zeiger der DATA-Liste auf deren Anfang gestellt (Zeile 2050).

Die folgende M-Schleife ist so oft zu durchlaufen, wie es die Ordnung des Verfahrens NV angibt (Zeile 2060 bis 2150). Die Operationen in der M-Schleife werden für jede der ND Differentialgleichungen ausgeführt (N-Schleifen).

Mit Zeile 2070 wird das erste Koeffizientenpaar, Q_1 und P_1, eingelesen. Anschließend sind die Y-Werte bereitzustellen, die für eine erste Funktionsauswertung benötigt werden (Zeilen 2080 bis 2100). Da Q_1 stets Null ist, werden beim ersten Durchlauf eines Schrittes

Tafel 2. Koeffizienten Q und P einiger typischer Einschrittverfahren zur numerischen Integration von Differentialgleichungen

	NV	$Q(1)$	$P(1)$	$Q(2)$	$P(2)$	$Q(3)$	$P(3)$	$Q(4)$	$P(4)$
Euler	1	0	1						
Euler (Modif.)	2	0	1/2	1	1/2				
Heun	3	0	1/4	1/3	0	2/3	3/4		
Runge-Kutta	4	0	1/6	1/2	1/3	1/2	1/3	1	1/6

Dr.-Ing. *Friedrich Fischer* ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Zentralinstitut für Festkörperphysik und Werkstofforschung der AdW, Dresden. Dipl.-Ing. *Werner Retzlaff* ist Entwicklungsingenieur im VEB Steremat „Hermann Schlimme" Berlin.

[1]) Teil 1 dieser Artikelserie ist erschienen in ELEKTRIE, Berlin 39 (1985) 1, S. 14 – 16.

Tafel 3. BASIC-Programm zur Schaltungssimulation (Hauptprogramm)

```
   1 REM SIMULATIONSPROGRAMM
   2 REM - - - - - - - - - - - - - -
   3 REM
1000 REM ANFANGSZUWEISUNGEN
1001 REM
1200 LET NV=2
1210 DATA 0, 0.5, 1, 0.5
1211 REM
1220 LET ND=2
1230 DIM F(ND)
1240 DIM Y(ND)
1250 DIM K(ND)
1260 DIM S(ND)
1261 REM
1270 LET DT=1E-5
1280 LET T=0
1299 REM - - - - - - - - - - - - - - -
2000 REM HAUPTPROGRAMM
2001 REM
2010 GOSUB 3000: REM UP AUSGABE
2020 GOSUB 4000: REM UP STG
2030 GOSUB 5000: REM UP QUELLE
2040 GOSUB 6000: REM UP VENTILE
2041 REM
2050 RESTORE
2060 FOR M=1 TO NV
2070 READ Q, P
2080 FOR N=1 TO ND
2090 LET Y(N)=F(N)+Q * K(N)
2100 NEXT N
2101 REM
2110 GOSUB 7000: REM UP DGL
2111 REM
2120 FOR N=1 TO ND
2130 LET S(N)=S(N)+P * K(N)
2140 NEXT N
2150 NEXT M
2151 REM
2160 FOR N=1 TO ND
2170 LET F(N)=F(N)+S(N)
2180 LET S(N)=0
2190 NEXT N
2200 LET T=T+DT
2210 GOTO 2000
2999 REM - - - - - - - - - - - - - - -
```

Tafel 4. Programmergänzung zur Simulation eines Parallelschwingkreises

```
1700 LET F(1)=0
1710 LET F(2)=100
1720 LET L=1E-3
1730 LET C=25E-6
1799 REM - - - - - - - - - - - - - - -
3000 REM UP AUSGABE
3010 PRINT T, F(1), F(2)
3998 RETURN
3999 REM - - - - - - - - - - - - - - -
4000 REM UP STG
4998 RETURN
4999 REM - - - - - - - - - - - - - - -
5000 REM UP QUELLE
5998 RETURN
5999 REM - - - - - - - - - - - - - - -
6000 REM UP VENTILE
6998 RETURN
6999 REM - - - - - - - - - - - - - - -
7000 REM UP DGL
7010 LET K(1)=Y(2) * DT/L
7020 LET K(2)=-Y(1) * DT/C
7998 RETURN
7999 REM - - - - - - - - - - - - - - -
```

Tafel 5. Unterprogramm AUSGABE zur Darstellung von Oszillogrammen (HC-900)

```
1300 LET N$="ERSTE BEISPIELE"
1301 REM
1310 DIM Y$(4,6)
1311 LET Y$(1,6)=",,I"
1312 LET Y$(2,6)=",,U"
1313 LET Y$(3,6)="  "
1314 LET Y$(4,6)="  "
1315 REM
1320 DIM M(4)
1330 DIM N(4)
1331 LET M(1)= 5: LET N(1)=4
1332 LET M(2)=50: LET N(2)=4
1333 LET M(3)= 0: LET N(3)=0
1334 LET M(4)= 0: LET N(4)=0
1335 REM
1340 DIM A(4)
1341 REM
1350 LET MT=2E-4
1360 LET AUT=0
1370 LET TRIG=1
1380 INPUT "TEST-Nr.?"; NR
1399 REM - - - - - - - - - - - - - - -
3000 REM UP AUSGABE
3010 LET A(1)=F(1)
3020 LET A(2)=F(2)
3050 GOSUB 3700: REM UP OSZI
3098 RETURN
3099 REM - - - - - - - - - - - - - - -
3700 REM UP OSZI
3710 IF TRIG=0 THEN GOTO 3730
3720 GOSUB 3800: REM UP KOPF
3721 GOSUB 3900: REM UP RASTER
3722 LET TRIG=0
3723 LET TX=0
3724 REM
3730 LET X=TX * 20/MT
3740 FOR J=1 TO 4
3741 IF M(J)=0 THEN GOTO 3744
3742 LET Y=(A(J)/M(J)+N(J)) * 20
3743 IF Y>=0 AND Y<160 THEN
     PSET X+32, Y+40, 0
3744 NEXT J
3745 REM
3750 LET TX=TX+DT
3760 IF TX<10 * MT THEN RETURN
3770 IF AUT=1 THEN LET TRIG=1: RETURN
3780 STOP
3798 RETURN
3799 REM - - - - - - - - - - - - - - - - - -
3800 REM UP KOPF
3810 PRINT AT (5,4); N$
3811 PRINT AT (5,29); "TEST NR"
3812 PRINT AT (6,4); "T0: ";T
3813 PRINT AT (6,17); ,,MT: ";MT
3814 PRINT AT (6,32);NR
3820 FOR J=1 TO 4
3821 PRINT AT (J * 5+3, 30); Y$(J,6)
3822 PRINT AT (J * 5+4,30);,,M: ";M(J)
3823 PRINT AT (J * 5+5,30);,,N: ";N(J)
3824 NEXT J
3898 RETURN
3899 REM - - - - - - - - - - - - - - - -
3900 REM UP RASTER
3910 FOR Y=0 TO 40
3911 FOR X=0 TO 10
3912 PSET X * 20+32, Y * 4+40, 0
3913 NEXT X: NEXT Y
3920 FOR X=0 TO 50
3921 FOR Y=0 TO 8
3922 PSET X * 4+32, Y * 20+40, 0
3923 NEXT Y: NEXT X
3998 RETURN
3999 REM - - - - - - - - - - - - - - -
```

Tafel 6. Unterprogramm AUSGABE für Funktionsmuster im Zeichenraster (Z 9001)

```
1300 LET X=0
1310 LET A=0
1320 LET AP=5
3000 REM UP AUSGABE
3010 LET A=A+1
3020 PRINT AT (23,0); T * 1000,
     INT (F(1) * 100)/100,
     INT (F(2) * 100)/100
3030 IF A<AP THEN RETURN
3040 PRINT AT (11,X); "-"
3050 PRINT AT (11.5-F(1)/2,X); "I"
3060 PRINT AT (11.5-F(2)/10,X); "1"
3070 LET A=0
3080 LET X=X+1
3090 IF X>39 THEN LET X=0: CLS
3998 RETURN
3999 REM - - - - - - - - - - - - - - -
```

Tafel 7. Programmergänzung zur Simulation einer Schaltung aus zwei LCR-Kreisen

```
1220 LET ND=4
1270 LET DT=2E-8
1300 LET N$="ZWEI LCR-KREISE"
1301 REM
1310 DIM Y$(4,6)
1311 LET Y$(1,6)="U1"
1312 LET Y$(2,6)="I1"
1313 LET Y$(3,6)="U2"
1314 LET Y$(4,6)="I2"
1315 REM
1320 DIM M(4)
1330 DIM N(4)
1331 LET M(1)=10: LET N(1)=6
1332 LET M(2)= 5: LET N(2)=6
1333 LET M(3)= 1: LET N(3)=2
1334 LET M(4)= 1: LET N(4)=2
1335 REM
1340 DIM A(4)
1341 REM
1350 LET MT=1E-6
1360 LET AUT=0
1370 LET TRIG=1
1380 INPUT "TEST-Nr.?";NR
1399 REM - - - - - - - - - - - - - - -
1500 LET UD=10
1599 REM - - - - - - - - - - - - - - -
1700 LET F(1)=0
1710 LET F(2)=0
1720 LET F(3)=0
1730 LET F(4)=0
1731 REM
1740 LET C1=2E-7
1741 LET L1=2E-7
1742 LET R1=3E-1
1743 LET C2=1E-6
1744 LET L2=1E-6
1745 LET R2=5E-1
1799 REM - - - - - - - - - - - - - - -
3000 REM UP AUSGABE
3010 LET A(1)=F(1)
3020 LET A(2)=F(2)
3030 LET A(3)=F(3)
3040 LET A(4)=F(4)
3050 GOSUB 3700: REM UP OSZI
3098 RETURN
3099 REM - - - - - - - - - - - - - - -
7000 REM UP DGL
7010 LET K(1)=Y(2) * DT/C1
7020 LET K(2)=(UD-Y(1)-Y(3)
          -Y(2) * R1) * DT/L1
7030 LET K(3)=(Y(2)-Y(4)) * DT/C2
7040 LET K(4)=(Y(3)-Y(4) * R2) * DT/L2
7998 RETURN
7999 REM - - - - - - - - - - - - - - -
```

der jeweilige Funktionswert des vorangegangenen Schrittes oder die Anfangsbedingung unverändert in den Y-Speicher übernommen. Mit diesen Daten erfolgt die Berechnung der ersten K-Werte gemäß DGL-System (Zeilen 2110, 7000 bis 7020). Die Ergebnisse werden unter Berücksichtigung des Wichtungsfaktors P_1 in den Summenspeicher S geladen (Zeilen 2120 bis 2140).

Der zweite Durchlauf beginnt mit dem Einlesen von Q_2 und P_2. Die in K verbliebenen Werte des ersten Durchlaufs bilden, mit Q_2 multipliziert, den Ausgangspunkt einer weiteren Funktionsauswertung. In F stehen die Variablenwerte vom Schrittanfang solange zur Verfügung, bis die letzten K-Werte bestimmt und gewichtet aufsummiert sind. Danach erfolgt die Übernahme der Zuwächse aus S nach F mit anschließendem Löschen von S (Zeilen 2160 bis 2190).

Nachdem die Zeit T um DT weitergerückt wurde (Zeile 2200), folgt der Rücksprung. Anschließend an die Auswertung der Ergebnisse und die Vorbereitung des folgenden Schrittes (Unterprogramme 3000 bis 6000) wird in den nächsten Integrationszyklus eingetreten.

Programmtest

Nach Eingabe des Textes der Tafeln 3 und 4 ist das Programmbeispiel testbereit. Die zur Auflockerung des Textbildes eingefügten Kommentarzeilen (REM) können bekanntlich entfallen. Bevor näher auf Ergebnisse eingegangen wird, sollen im folgenden weitere Ausgabemöglichkeiten betrachtet werden.

3. Darstellung der Ergebnisse

3.1. Oszillogramme mittels Punktgraphik

Bei herkömmlichen Taschenrechnern kann jeweils nur der Inhalt eines Speicherregisters angezeigt werden. Heim- und Personalcomputer mit Bildschirm bieten demgegenüber wesentlich verbes-

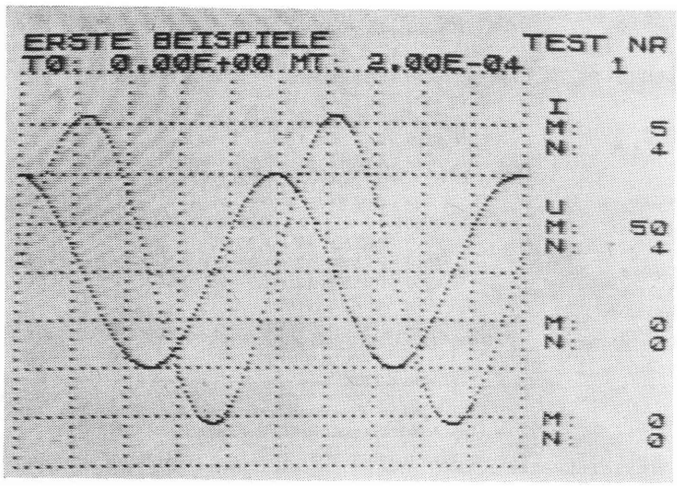
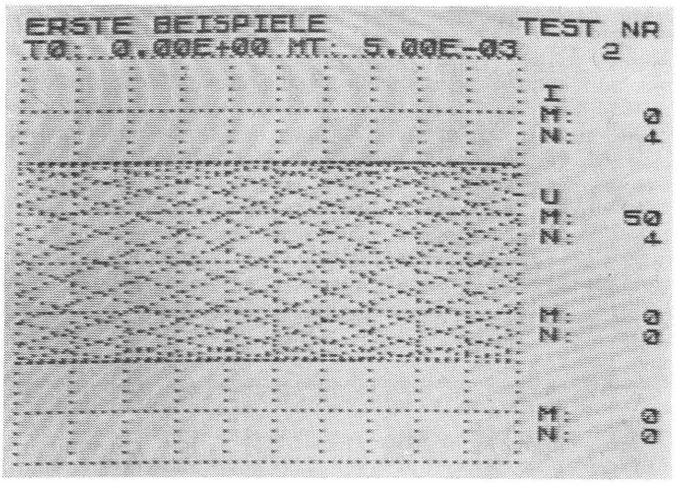


Bild 3. Oszillogramme der Simulation eines Parallelschwingkreises nach Bild 1 a, $L = 1$ mH, $C = 25$ µF.
a) Strom i (5 A/RE) und Spannung u (50 V/RE) im Zeitmaßstab MT = 200µs/RE, Verfahren: Mod. *Euler* 2. Ordnung, Schrittweite DT = 10µs.



b) Spannung u (50 V/RE) im Zeitmaßstab MT = 5 ms/RE, Verfahren: *Runge-Kutta* 4. Ordnung, Schrittweite DT = 50µs.

serte Möglichkeiten, wie z.B. eine Ausgabe der Ergebnisse in Tabellenform. Für die Schaltungssimulation besonders geeignet sind Geräte mit einer großen Zahl einzeln ansteuerbarer Bildpunkte (sog. Punktgraphik). Im folgenden soll gezeigt werden, wie unter dieser Voraussetzung die Funktion eines Digitaloszilloskops nachgebildet werden kann.

Während die bisherigen BASIC-Texte weitgehend rechnerneutral abgefaßt werden konnten, sind Bildschirmprogramme enger an die Spezifik des jeweiligen Rechnertyps gebunden. Das vorliegende Beispiel gilt für den Heimcomputer HC-900 [34], dessen Graphikumfang 320 × 256 Bildpunkte beträgt. Zur Erleichterung der Übertragung des Programms auf andere Rechner werden hiervon 256 × 176 Punkte genutzt.

Das „Oszilloskop" befindet sich als Unterprogramm in einem „Fach" des UP AUSGABE (Tafel 5). In UP OSZI stehen vier y-Kanäle zur Verfügung, von denen im ersten Beispiel nur zwei „angeschlossen" sind. Für den eingeblendeten Schriftkopf und das Rasternetz werden weitere Unterprogramme aufgerufen.

Anfangszuweisungen

Die String-Variable N$ ist für einen Namen, z.B. die Art der Schaltung, vorgesehen (Zeile 1300). Das String-Feld Y$ gestattet, vier Ketten zu je 6 Zeichen abzuspeichern. Hier können die Bezeichnungen der Meßgrößen eingeschrieben werden (Zeilen 1311 bis 1314). Das Feld M enthält die y-Maßstäbe und das Feld N die Lage der Nullinien der Kanäle (Zeilen 1320 bis 1334). Für die aktuellen y-Amplituden wird ein Feld A definiert (Zeile 1340), dessen Elemente im UP AUSGABE den gewünschten Meßgrößen zugeordnet werden (Zeilen 3010, 3020).

Der Zeitmaßstab MT wird mit Zeile 1350 gewählt. Durch Einschalten der AUTO-Funktion läßt sich in bekannter Weise eine freilaufende Zeitablenkung realisieren. Im vorliegenden Beispiel ist Einzeltriggerung erwünscht und deshalb AUT = 0 (Zeile 1360). Der „Triggerimpuls" wird hier mit Simulationsbeginn gesetzt (Zeile 1370). Andere bekannte Möglichkeiten, wie internes Triggern auf bestimmte Nulldurchgänge von Variablen einschließlich Triggerverzögerungen sind ebenfalls einbeziehbar.

Über die INPUT-Zeile 1380 läßt sich eine Test-Nr. zur Unterscheidung der Oszillogramme eingeben.

Unterprogramm OSZI

Das Unterprogramm OSZI beginnt mit einem Abschnitt, der bei Vorliegen eines „Triggerimpulses" einmalig zu durchlaufen ist (Zeilen 3720 bis 3723). Hier werden der Kopf geschrieben, das Raster gezeichnet und die „Ablenkzeit" TX zurückgesetzt.

Der folgende Teil wird mit jedem Integrationsschritt angesprochen. Die Zeit TX erhöht sich dabei jeweils um DT (Zeile 3750). Aus TX, dem Zeitmaßstab MT und der Zahl von 20 Punkten pro Rastereinheit errechnet sich die gültige X-Koordinate (Zeile 3730). Eine Rundung dieser Werte auf ganze Zahlen erfolgt in der BASIC-Plot-Routine.

In der J-Schleife (Zeilen 3740 bis 3744) wird für jeden der vier Kanäle die Y-Koordinate errechnet. Wenn Y im Abbildungsbereich des Rasters liegt, wird ein Punkt gesetzt. Die dritte Position des PSET-Befehls enthält die Farbinformation. Null (schwarz) gilt im Falle der Vorvereinbarung: INK 0, PAPER 7. Unbelegte Kanäle (M = 0) werden übersprungen.

Nach dem Weiterrücken der „Ablenkzeit" wird überprüft, ob der rechte Rand des Rasternetzes erreicht ist (Zeile 3760). Falls dies zutrifft, wird im Einzelimpulsmodus das Programm gestoppt (Zeile 3780). In der Betriebsart AUTO wird der Triggerimpuls neu gebildet und fortgefahren.

Weitere Funktionen, die bei Erreichen des rechten Bildrandes aufgerufen werden können, sind denkbar. Hierzu zählt z.B. die Möglichkeit einer übersichtlichen Darstellung und Veränderung aller Schaltungs- und Programmparameter. Außerdem kann durch Aufruf einer Maschinencode-Routine der Inhalt des in Frage kommenden Bildfensters um einen Punkt nach links verschoben werden, wodurch die laufende Beobachtung längerandauernder Übergangsvorgänge möglich ist. Für derartige Unterprogramme ist der Raum bis Zeile 999 vorgesehen.

3.2. Funktionsmuster im Zeichenraster

Für Rechner, die mit Bildschirm arbeiten, jedoch nicht über eine Punktgraphik verfügen, soll die folgende Ausgabemöglichkeit angeführt werden. Das Programmbeispiel (Tafel 6) bezieht sich auf den Heimcomputer Z 9001 [33] und gilt wiederum in Verbindung mit dem Text der Tafeln 2 und 3. Mittels PRINT AT — Anweisungen wird im verfügbaren Raster von 40 × 24 Zeichen ein Funktionsmuster geplottet, das zur Groborientierung dienen kann (Zeilen 3050, 3060). Auf der PRINT-Zeile 11 liegt die Nullinie (Zeile 3040). Mit Hilfe der Kontrollvariablen A kann eine zeitliche Komprimierung der Verläufe um den Faktor AP erfolgen (Zeilen 3010, 3030). Die eingeblendeten Zahlenwerte von Zeit T (in ms), Strom F(1) und Spannung F(2) werden bei jedem Integrationsschritt aktualisiert. (Zeile 3020).

4. Simulationstests

4.1. Erste Beispiele

Zunächst sollen Oszillogramme der Simulation des Parallelschwingkreises (siehe Bild 1) betrachtet werden. Hierzu sind das Hauptprogramm (Tafel 3), die Programmergänzungen zur Schaltung (Tafel 4) und das „Oszilloskop" (Tafel 5) erforderlich. Der angegebene Text legt u.a. fest: Verwendung des modifizierten *Euler*-Verfahrens mit einer Schrittweite DT = 10 µs, Strommaßstab M(1) = 5 A/RE (Rastereinheit), Spannungsmaßstab M(2) = 50V/RE,

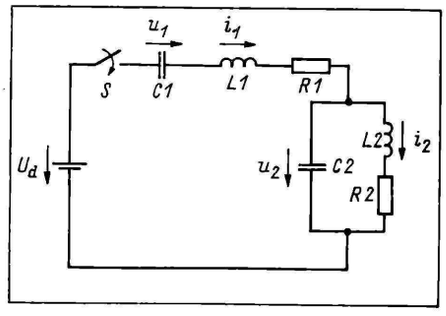
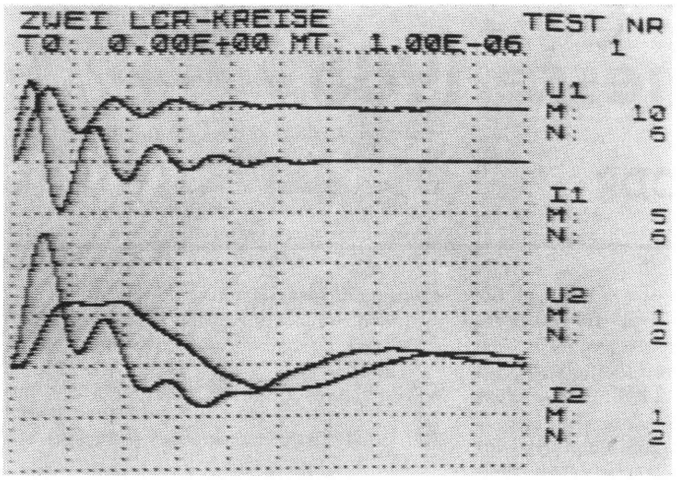


Bild 4
Schaltung des Simulationsbeispieles „Zwei LCR-Kreise"



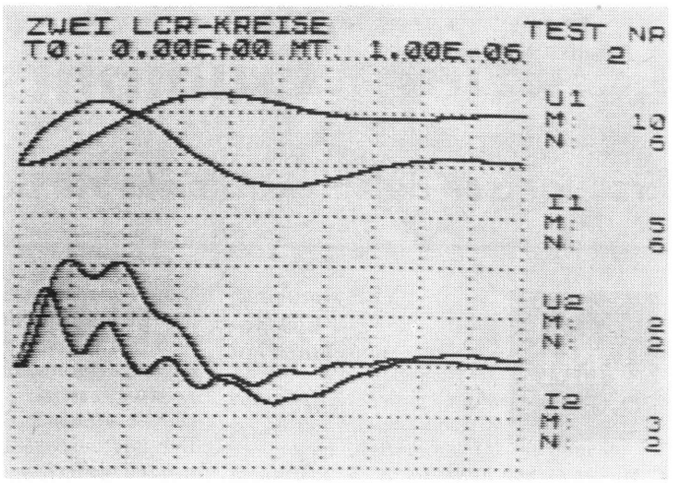


Bild 5. Oszillogramme der Simulation einer Schaltung aus zwei LCR-Kreisen nach Bild 4:

u_1 (10 V/RE), i_1 (5 A/RE), Zeitmaßstab MT = 1 µs/RE, Verfahren: *Runge-Kutta* 4. Ordnung, Schrittweite 20 ns.

a) $C_1 = 0{,}2\,\mu F$; $L_1 = 0{,}2\,\mu H$; $R_1 = 0{,}3\,\Omega$; $C_2 = 1\,\mu F$; $L_2 = 1\,\mu H$; $R_2 = 0{,}5\,\Omega$; u_2 (1 V/RE), i_2 (1 A/RE)

b) $C_1 = 1\,\mu F$; $L_1 = 1\,\mu H$; $R_1 = 0{,}5\,\Omega$; $C_2 = 0{,}2\,\mu F$; $L_2 = 0{,}2\,\mu H$; $R_2 = 0{,}2\,\Omega$; u_2 (2 V/RE), i_2 (3 A/RE)

Zeitmaßstab MT = 200 µs/RE, beide Nulllinien um vier RE nach oben verschoben. Bild 3a zeigt die entsprechenden Verläufe.
Der Schwingkreis ist ungedämpft, so daß die Konstanz der Amplituden über die Simulationszeit ein Maß für die Genauigkeit des Verfahrens darstellt. Für einen entsprechenden Test soll MT auf 5 ms/RE vergrößert werden. Durch Setzen des Strommaßstabes M(1) = 0 wird allein die Spannung geschrieben. Die entstehende Hüllkurve über 50 Perioden läßt keine Abweichung der Amplituden von den Grenzen ± 100 V erkennen.

An dieser Stelle ist auf die erforderlichen Rechenzeiten einzugehen. Die Angaben, die sich auf den HC-900 [34] beziehen, sind in ihrer Größenordnung typisch für die Mehrzahl gegenwärtiger Heimcomputer. Für das Zeichnen des Rasters werden 24 s, für die Simulation nach Bild 3a etwa 2,5 min benötigt. Der Test über 50 ms dauert gar 50 min. Das einfachere Programm nach Abschn. 3.2. läuft auf dem Z 9001 mit 35 s/ms. Diese relativ geringen Abarbeitungsgeschwindigkeiten sind für BASIC-Programme charakteristisch, wo bekanntlich die Übertragung in Maschinenbefehle während des Programmlaufes selbst erfolgt.

Möglichkeiten einer Verkürzung der Rechenzeit um einen Faktor von etwa 20 ergeben sich durch Programmierung in PASCAL und Übersetzung vor dem Programmlauf. Entsprechende PASCAL-Compiler, ladbar von Kassette in einen RAM-Bereich, werden zunehmend auch für Heimcomputer entwickelt. Die Übersetzungsgeschwindigkeit kann einige kByte/s erreichen, so daß faktisch Dialogbetrieb möglich ist.

Auch in der BASIC-Variante sind die Simulationszeiten verkürzbar, z.B. durch geeignete Wahl der Integrationsschrittweite DT. Die Zunahme des Fehlers bei Vergrößerung von DT kann durch Wiederholung des letzten Tests mit doppelter Schrittweite demonstriert werden. Durch Übergang auf das *Heun*-Verfahren 3. Ordnung ist wieder annähernde Konstanz der Amplituden über 50 ms auch mit DT = 20 µs erzielbar. Die Rechenzeit reduziert sich auf 34 min. Das *Runge-Kutta*-Verfahren 4. Ordnung erreicht ein ähnliches Ergebnis mit einer Schrittweite DT = 50 µs in einer Zeit von 18 min (Bild 3b).

Größere Schrittweiten, möglich durch Verfahren höherer Ordnung, werden dann kaum nutzbar, wenn kleine Zeitmaßstäbe zur Darstellung erforderlich sind. Eine Wiederholung der Simulation des Bildes 3b mit MT = 200 µs/RE verdeutlicht das. Bis zur gewünschten Verdichtung der Punktfolge ist die Schrittweite so weit zu verkleinern, daß wiederum auch einfachere Verfahren die erforderliche Genauigkeit erbringen (Bild 3a).

Ein veränderter Sachverhalt liegt dann vor, wenn Schaltungsteile mit höheren Eigenfrequenzen zwar wirksam werden, jedoch für eine Auswertung nicht von Interesse sind. Derartige, sogenannte steife Systeme mit ihren erheblichen Unterschieden zwischen den Werten der kleinsten und der größten Zeitkonstante erfordern spezielle Verfahren höherer Ordnung [63] [64].

In jedem Fall sollte die Richtigkeit der Simulation einer neuen Schaltung anhand eines Testlaufes mit überprüfbaren Ergebnissen kontrolliert werden. Ein Maß für den Fehler ergibt sich bei Wiederholung einer Rechnung mit halbierter Schrittweite aus der Abweichung beider Ergebnisse voneinander. Dieses Prinzip liegt Verfahren zur automatischen Schrittweitenansteuerung zugrunde [61] [64] bis [66].
Weitere Wege zur Verringerung der Rechenzeiten eröffnen sich bei Optimierung der zeitkritischen, im DT-Zyklus zu durchlaufenden, Programmteile, wie z.B. durch

- einmalige Ausführung nichtveränderlicher Berechnungen, wie z.B. DT/L oder 20/MT, vor diesem Zyklus,
- eingeschränkte Verwendung indizierter Feldvariabler wegen der relativ langen Zugriffszeiten,
- möglichst frühe Vereinbarung derjenigen Variablen, die im zeitkritischen Teil häufig auftreten, da Variable mit niedrigerer RAM-Adresse beim Aufruf rascher gefunden werden.

In den Programmbeispielen der vorliegenden Arbeit wird auf diese und andere Möglichkeiten zugunsten der Anschaulichkeit weitgehend verzichtet.

4.2. Zwei LCR-Kreise

Das folgende Beispiel illustriert die Handhabung des Simulationsprogramms beim Übergang auf die Untersuchung einer anderen Schaltung. Eine Anordnung, bestehend aus einem gedämpften Reihenschwingkreis und einem gedämpften Parallelschwingkreis, werde zur Zeit $t = 0$ an die Gleichspannung U_d angeschlossen (Bild 4). Die Schaltung führt zu dem DGL-System

$$\begin{aligned} C_1\,(\mathrm{d}u_1/\mathrm{d}t) &= i_1 \\ L_1\,(\mathrm{d}i_1/\mathrm{d}t) &= U_d - u_1 - u_2 - i_1 R_1 \\ C_2\,(\mathrm{d}u_2/\mathrm{d}t) &= i_1 - i_2 \\ L_2\,(\mathrm{d}i_2/\mathrm{d}t) &= u_2 - i_2 R_2. \end{aligned} \qquad (12)$$

Tafel 7 enthält diese vier Gleichungen (Zeilen 7010 bis 7040) sowie weitere Veränderungen und Ergänzungen des bisherigen Programms. Zur Ausgabe der Variablen werden sämtliche vier Kanäle des „Oszilloskops" genutzt. Die Bilder 5a und b zeigen zwei Fälle mit jeweils unterschiedlicher Eigenfrequenz beider Kreise. Die Simulationszeit beträgt 16,5 min je Bild für den HC-900.

(Fortsetzung folgt)

Literatur

[61] *Shoup, T. E.:* A practical guide to computer methods for Engineers. Englewood Cliffs: Prentice-Hall 1979

[62] *Smith, J. M.:* Numerische Probleme und ihre Lösungen mit Taschenrechnern. Braunschweig-Wiesbaden: Vieweg 1981

[63] *Willoughby, R. A.* (Herausg.): Stiff differential systems. New York: Plenum Press 1974

[64] *Friedli, A.:* Verallgemeinerte Runge-Kutta-Verfahren zur Lösung steifer Systeme gewöhnlicher Differentialgleichungen. Diss. TH Zürich 1979

[65] *Venz, G.:* Lösung von Differentialgleichungen mit programmierbaren Taschenrechnern, 2. Aufl. München: Oldenbourg 1980

[66] *Brand, B.:* Algorithmen zur praktischen Mathematik. München: Oldenbourg 1981

EA 5536

Leipziger Frühjahrsmesse 1985

Erzeugnisse der Elektroindustrie der DDR

VEB Kombinat Elektromaschinenbau

1. Messeangebot konsequent am Leitthema orientiert

Die Gewinnung, Veredelung und Anwendung von Rohstoffen, Brennstoffen und Energie ist ohne VEM-Antriebstechnik nachgerade ausgeschlossen. Das Kombinat präsentiert zur Messe mit Hochspannungsmotoren, elektrohydraulichen Betätigungsgeräten, Magnetpulverkupplungen sowie Schleifringläufermotoren eine Auswahl von insbesondere in Antrieben und Ausrüstungen für den Braunkohlentagebau bewährten Elektromaschinen. Eine wichtige Dominante des Messeangebotes 1985 ist die überzeugende Darstellung der Energieeinsparung z. B. durch Drehzahlstellung.

2. Mit Drehzahlstellung Energie sparen

Elektronische Stellglieder der VEM-Antriebstechnik ermöglichen eine verlustarme Drehzahlregelung von Standardmotoren. Komplette Antriebe werden dadurch noch universeller einsetzbar. Sie helfen dem Anwender bei der Einsparung von Energie und Material, bieten Wartungsfreiheit, hohe Wirtschaftlichkeit und Betriebssicherheit.

2.1. VEM-Wechselstromsteller-Antrieb, 220 V

Verlustarme Drehzahlstellung von Einphasenmotoren mit Wechselstromsteller
- Energieeinsparung bis zu 20%
- Einzel- und Gruppenantriebe
- hohe Zuverlässigkeit bei Motorvollschutz.

Bild 2. VEM-Drehstromsteller

Der Wechselstromsteller des VEB Kombinat Elektromaschinenbau ist für die verlustarme Spannungssteuerung von Einphasen-Asynchronmotoren mit Käfigläufer im Leistungsbereich bis 2 kW vorgesehen (Bild 1 auf der 2. US).
Der mit modernen elektronischen Bauelementen aufgebaute Steller gestattet eine rationelle Lösung der verschiedenen Antriebsprobleme mit wartungsarmen Käfigläufermotoren wie Einphasen-Wechselstrommotoren mit Betriebskondensator, Einphasenwechselstrom-Außenläufermotoren und Spaltpolmotoren sowie mit Einphasen Kommutatormotoren. Es ist sowohl Einzelantriebssteuerung als auch Gruppenantriebssteuerung möglich. Spezielle Bedingungen, wie sie z.B. beim Antrieb von Ventilatoren auftreten, sind mit dem Steller erfüllbar. Die Steuerung der Ausgangsspannung des Stellers erfolgt nach dem Prinzip der Phasenanschnittsteuerung. Der im Steuerteil des Stellers eingesetzte mikroelektronische Ansteuerschaltkreis gewährleistet eine exakte Symmetrie der Ausgangsspannung.
Wechselstromsteller-Antriebe eignen sich besonders für Arbeitsmechanismen, deren Widerstandsmoment sich quadratisch mit der Drehzahl verändert, z.B. für Lüfter und Kreiselpumpen.
Gegenüber transformatorischen Stellern zeichnen sich Wechselstromsteller infolge des weitestgehenden Verzichts auf Einsatz von Walzstahl und Kupfer durch geringeres Gewicht und kleineres Bauvolumen aus.

2.2. VEM-Drehstromsteller-Antrieb, 380 V

Stufenlose Drehzahlstellung von Drehstrom-Asynchronmotoren bis 3 kW durch Drehstromsteller (Bild 2)
- Energieeinsparung bis zu 20%
- Senkung der Wartungskosten
- Geräuschreduzierung.

Der neue Antrieb ermöglicht die stufenlose Drehzahlstellung der VEM-Standardmotoren bis 3 kW am spannungs- und frequenzstarren Netz. Zu diesem Zweck speist der Drehstromsteller die Drehstrommotoren mit einem Drehstromsystem variabler Spannung. Es wird erzeugt durch Phasenanschnittsteuerung der Netzspannung.
VEM-Drehstromsteller bieten viele schaltungstechnische Vorzüge
- sicheres Arbeiten durch Anlauf- und Überwachungsschaltung
- in die Gerätekonzeption integrierte Funkentstörung
- Schutzeinrichtungen gegen
  - Überspannungen
  - Überlast (betriebsmäßige oder durch Leitungsunterbrechung bzw. Phasenausfall)
  - Kurzschluß durch vorzuschaltende gebräuchliche und kostengünstige D-Schmelzeinsätze
- Drehfeldkontrolle für Inbetriebnahme
- einfache Installationsarbeiten durch gewählte Gerätekonzeption
- für den Drehstrommotor optimale Stellgliedschaltung
- projektierte Zuverlässigkeit.

2.3. VEM-Frequenzumrichter-Antrieb, 220 V

3 kVA-Ausgangsleistung ermöglicht vorteilhafte energie-ökonomische Antriebslösungen für drehzahlvariable Drehstromantriebe
- Energieeinsparung bis zu 30%
- Einzel- und Mehrmotorenbetrieb
- optimale Prozeßanpassung an technologische Erfordernisse.

Der Transistorumrichter ist eine kompakte anschlußfertige Baueinheit. Er besitzt einen ungesteuerten Gleichrichter, einen Gleichspannungszwischenkreis mit Bremsschopper und einen Wechselrichter.
Er entnimmt dem Netz ausschließlich Wirkstrom. Kompensationseinrichtungen entfallen. Eine elektronische Reversiereinrichtung ermöglicht kontaktlose Drehrichtungsumkehr.
Die Drehzahländerungen beim Anfahren und Bremsen erfolgen ruckfrei. Die anfallende Bremsenergie wird dabei vom Zwischenkreis aufgenommen. Bei hoher Bremsenergie muß ein Bremswiderstand angeschlossen werden, der dann automatisch die zusätzlich auftretende Energie aufnimmt.
Durch die Hochlaufzeitverzögerung ist der Einschaltstrom des Drehstrommotors immer geringer als der bei direkter Speisung des Drehstrommotors vom Netz. Netzspannungsschwankungen werden entsprechend der Regelreserve an Zwischenkreisspannung ausgeregelt.
Der Umrichter ist durch eine Vielzahl interner Schutzeinrichtungen gegen elektrische und thermische Überlastungen geschützt, insbesondere ist er kurzschlußfest. Drehstrommotoren mit 220/380-V-Wicklung werden in Dreieckschaltung an den Umrichter angeschlossen. Der Umrichter ist sowohl für Einzel- als auch Mehrmotorenantriebe einsetzbar.
VEM-Transistorumrichter bieten viele schaltungstechnische Vorzüge
- Sollwertvorgabe für Frequenz manuell über internes oder externes Potentiometer bzw. über externe normierte Steuerspannung
- Drehrichtungsumkehr durch Polaritätswechsel der Steuerspannung
- Einstellbare Anlauf- und Bremszeiten
- Einstellbare Ausgangsstrombegrenzung
- Stopp-Eingang
- Tipp-Eingang für Schleichdrehzahl
- Einstellbare Spannungs-Frequenz-Zuordnung 220 V/50 Hz oder 220 V/80 Hz
- Potentialfreier Ausgang mit einem frequenzanalogen Signal, das der eingestellten Ausgangsfrequenz des Umrichters proportional ist

— Ausgang mit Signal bei Ansprechen der Strombegrenzung.

3. Weitere Exponate für das Energieprogramm

Weiter stellt der VEB Kombinat Elektromaschinenbau Generatoren und Aggregate für die netzlose effektive Energieversorgung aus, deren Wirkungsgrad durch die eingeführte elektronische Regelung bedeutend erhöht wurde (Bild 3 auf der 2. US). Neue Kernkraftwerksmotoren als Beitrag zum Energieprogramm der DDR sowie als wichtiges RGW-Objekt und ein neuer energieoptimierter Hermetikmotor (für Kühlschränke) sind weitere Bausteine des DDR-Elektromaschinenbaus zu den Leit-Themen der Leipziger Frühjahrsmesse 1985.

4. Neue VEM-Gleichstrom-Stellmotoren

Für die Rationalisierung und flexible Automation von Industrieprozessen entwickelte der VEB Kombinat Elektromaschinenbau die neuen Gleichstrom-Stellmotoren der Erzeugnisgeneration WSM 3. Diese Motoreneinheiten zeichnen sich durch geringe Abmessungen, hohe Dynamik und Variationsbreite aus. Neben der besonderen Eignung für numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen und Industrieroboter sind sie für vielfältige Automatisierungsvorhaben einsetzbar.

Der WSM-3-Baukasten bietet ein Paket von Anwendervorteilen:

Große Leistungsdichte

— Im gesamten Drehzahlbereich große Dauerdrehmomente bei geringen Motorabmessungen
— Progressive Materialausnutzung mit Isolierstoffen und Bauteilen der Wärmebeständigkeitsklassen F und H
— Stabile Dauermagneterregung mit Hartferriten hoher Energiedichte (es ist keine Feldversorgung notwendig)
— Große thermische Zeitkonstanten und damit unempfindlich gegen betriebsbedingte zeitliche Überlastungen.

Hohe Dynamik

— Kleine Massenträgheitsmomente
— Große Drehmomentüberlastbarkeit beim Beschleunigen und Bremsen im gesamten Drehzahlbereich.

Großer Stellbereich

— Hohe Maximaldrehzahlen entsprechend den Forderungen der Praxis
— Sehr guter Rundlauf auch bei Schleichdrehzahlen (mit angepaßten Stromrichtergeräten bis 0,1 U/min).

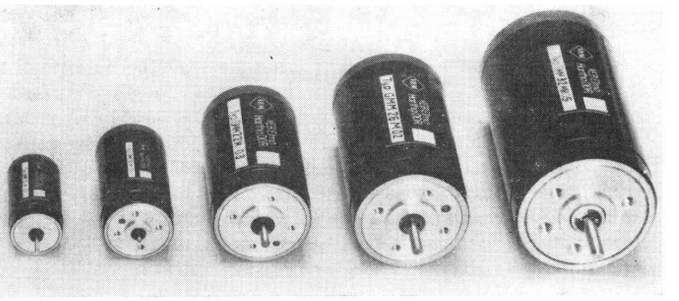
Hohe Zuverlässigkeit

— Robuste Kommutierungseinrichtung mit Formstoffkommutatoren aus Kupferlamellen
— Ausgesuchte Kohlebürsten mit spezifischen elektrischen und mechanischen Kennwerten sind in Röhrenbürstenhaltern untergebracht und damit von außen leicht zugänglich
— Geräuscharme Radial-Rillenkugellager, Festlager auf der D-Seite (Abtriebsseite).

Paßfähige Varianten

— Die Stellmotoren sind paßfähig für elektronische Stromrichtergeräte, insbesondere für den sechspulsigen Thyristor-Umkehrstromrichter des VEB Kombinat Automatisierungsanlagenbau

Bild 5
Gleichstrom-Mikromotoren der Reihe GMM mit Hohlläufer in den Baugrößen 12 bis 32
Fotos: Werkfoto



— Vorteilhafte Anpassung an Getriebe und Arbeitsmaschinen sowie weitgehende Kompatibilität
— Abdichtung des D-seitigen Wellendurchtritts mit V-Ring
— Handkurbel-Aufsteckmöglichkeit
— Eingebauter Thermistor für den Motorschutz
— elektrische Varianten (Nennspannung)
— Variabler Komplettierungsbaukasten mit zahlreichen zusätzlichen Bauteilen
— Bauform IM 3681 (beliebige Gebrauchslage) TGL RGW 246-76 und IEC 34-7, Schutzgrad IP 54 TGL RGW 247-76 und IEC 34-5.

5. VEM-Standard-Asynchronmotoren der Baugröße 315

Mit der Baugröße 315 (KPR/KPER) erweitert der VEB Kombinat Elektromaschinenbau sein Standardmotorenprüfprogramm und hebt den Leistungsbereich auf 200 kW an (Bild 4 auf der 2. US). Dabei stellt die Baugröße 315 aber nicht schlechthin eine Erweiterung der bereits seit Jahren produzierten Reihe KMR/KMER dar, sondern verkörpert die erste produktionswirksame Baugröße einer neuen Erzeugnisgeneration mit Spitzenposition im internationalen Vergleich, durch:

— Ausführung der Basistypen in Wärmebeständigkeitsklasse F ohne deren thermische Ausnutzung zum Zweck der Erhöhung der Überlastbarkeit und Lebensdauer (MTBF 35000 Stunden)
— Ein neues geräuschoptimiertes und drehrichtungsunabhängiges Belüftungssystem
— Ausführung der Basistypen im Schutzgrad IP 54
— Anhebung des Wirkungsgrades, insbesondere im Teillastbereich
— Nachweis der Zuverlässigkeit für den Einsatz bei Umgebungstemperaturen bis — 60°C
— Garantie der Schaltfestigkeit bei Netzumschaltungen in Phasenopposition und 100% Restspannung
— Erhöhte Schmierwirkungsdauer durch Einsatz eines optimierten Schmierfettes und Nachschmiereinrichtung mit Fettmengenregelung
— Angebot der vollen Modifikationsbreite wie bei der Typenreihe KMR/KMER.

Darüber hinaus beinhaltet das Erzeugnis Novitäten, die es eindeutig von den niveaubestimmenden internationalen Konkurrenzfabrikaten abheben.

• Läuferkäfig in druckgegossener Ausführung

Im internationalen Vergleichsfeld werden druckgegossene ALU-Läuferkäfige bis max. zur Baugröße 250 angeboten. Der druckgegossene Läuferkäfig garantiert absolute mechanische Unzerstörbarkeit unabhängig von den Schalt- und Betriebsbedingungen.

• Katalogmäßiges Angebot der Bauform IM 3001 (B5).

Im internationalen Vergleichsfeld wird aufgrund der komplizierten mechanischen Bedingungen die Bauform IM 3001 nur bis zur Baugröße 200 angeboten.

6. Vielseitiges Sortiment bewährter Antriebselemente für unterschiedliche Anwenderbereiche

6.1. Präzisionsantriebe für elektronische Geräte und Anlagen

Dazu gehören Gleichstrom-Mikromotoren der bekannte Reihe GMM mit Hohlläufer in den Baugrößen 12 bis 32 mit und ohne Impulsgeber (Bild 5) ebenso, wie der neue Elektronikmotor für den Antrieb von Kasettentonbandgeräten.

6.2. Vorschub- und Stellantriebe für Werkzeugmaschinen und Roboter

Neben der oben beschriebenen und zu diesem Komplex gehörenden Reihe WSM 3 und dem Mikromotor der Baugröße 32 sind hier vor allem die roboterspezifischen Kurzmotoren RSM 10 und 60 interessant (Bild 6 auf der 2. US), die mit ihren Vorteilen wie

— besonders kurze Baulänge und geringe Abmessungen (30 bis 40% normaler Gleichstrommotoren)
— geringe Masse (40 bis 50% normaler Gleichstrommotoren)
— große thermische Zeitkonstante und damit unempfindlich gegen stationäre Überlastungen
— hochstabile Dauermagneterregung, keine Feldversorgung erforderlich
— sehr guter Rundlauf auch bei Schleichdrehzahlen (mit angepaßten Stellgleichrichtern bis 0,1 U/min)
— hohe Maximaldrehzahl (4000 U/min)
— große Drehmomentüberlastbarkeit zum Beschleunigen und Bremsen im gesamten Drehzahlbereich (10fach bis 1000 U/min, 5fach bis 2000 U/min)
— kleine Massenträgheitsmomente (etwa 50% normaler Gleichstrommotoren der neuesten Generation)
— robuste Kommutierungseinrichtung mit Formstoffkommutatoren aus massiven silberlegierten Kupferlamellen
— ausgesuchte Kohlebürsten mit spezifischen elektrischen und mechanischen Kennwerten
— robuste Radial-Rillenkugellager (ein Festlager)
— Paßfähigkeit für elektrische Stellgleichrichter
— Komplettierbarkeit
— Anbauabmessungen nach IEC

im internationalen Vergleich noch immer unerreicht sind.

H. Müller, Dresden EA 1874

VEB Kombinat Automatisierungsanlagenbau

Zur Leipziger Frühjahrsmesse 1985 wird der Automatisierungsanlagenbau der DDR mit einem beträchtlich erweiterten Angebotsprofil auftreten: Mit Jahresbeginn wurden die Kombinate Automatisierungsanlagenbau und Elektroenergieanlagenbau zu einem neuen, leistungsstarken Industriekombinat zusammengeschlossen. Mit neu- und weiterentwickelten Anlagen und Erzeugnissen stellt sich der neue VEB Kombinat Automatisierungsanlagenbau in Leipzig einem internationalen Fachpublikum vor.

Prozeßautomatisierung

Mit einer Prozeßautomatisierung für Walzwerke stellt der Stammbetrieb des Kombinates, der VEB Elektroprojekt und Anlagenbau Berlin, eine neue Variante des modernen mudularen Automatisierungsanlagensystems „audatec" vor, das auf der Basis der Gerätesysteme der Mikroelektronik und Mikrorechnertechnik ursalog 4000, ursalog 5010 und ursatron 5000 entwickelt wurde. Es ermöglicht die Realisierung von Funktionen, die mit der bisherigen Technik ökonomisch nicht erreichbar waren. Der durchgängige Einsatz von „audatec"- und Thyresch-Erzeugnissen, sowohl im prozeßnahen Bereich, als auch in der Bedien- und Wartenebene, führt zu einer deutlichen Steigerung der Arbeitsproduktivität und der Qualität. Die Einsatzvorteile dieser Anlage liegen in der sicheren Prozeßführung, einem geringeren Aufwand an Projektierung, Fertigung und Montage durch den Einsatz der unifizierten, modularen Technik, einer Senkung des Energieeigenbedarfs und einer höheren Ausnutzung der Primärenergie durch optimale Prozeßführung.

VEM audatec

Die Notwendigkeit, Energie wirtschaftlicher zu erzeugen, liegt dem Konzept der Kraftwerksautomatisierung mit dem System „audatec" des VEB Geräte- und Regler-Werke Teltow zugrunde und trägt folgenden Gegebenheiten Rechnung:

- Die Nennleistung der in den letzten Jahren erbauten Kraftwerke wurde ständig erhöht.
- Die vorhandenen Kraftwerksblöcke mit geringerer Leistung werden im Rahmen eines Verbundsystems zur Spitzenlastdeckung eingesetzt.
- Für kleinere Blockeinheiten wird ebenfalls zunehmend ein wirtschaftlicherer Betrieb angestrebt.

Als Regelungssystem wird das einkanalige Mikrorechner-Regelungssystem ursamar 5001 und als Steuerungs- und Schutzsystem werden das digitale Kettenbaugruppensystem ursalog 4000 und die speicherprogrammierbare Steuerung ursalog 5010 eingesetzt.

Der VEB Starkstrom-Anlagenbau Cottbus hat aufgrund seiner jahrzehntelangen Erfahrungen bei der elektrotechnischen Ausrüstung von Tagebaugroßgeräten in der DDR die bekannte Baggerprogrammsteuerung BPS 720 weiterentwickelt und bietet mit der BPS 5000 eine neue, mikrorechnergeführte Lösung für die Automatisierung von Tagebaufördergeräten an. Erstmalig erfolgt der Einsatz dieser autonomen, mikrorechnergeführten Automatisierungseinrichtung auf einem Schaufelradbagger, unter Verwendung eines Mikrorechners K 1520 mit Baugruppen des Gerätesystems ursatron 5000.

Die neue Baggerprogrammsteuerung hat sich bereits im Großtagebau Meuro des Braunkohlenkombinates Senftenberg bewährt. Sie wird gegenwärtig am Schaufelradbagger SRs 1500 getestet. Bei der Industrieerprobung wurde durch den Anwender ein jährlicher Nutzen von 0,8 bis 1,3 Millionen Mark ermittelt. Dadurch wird ein Leistungsgewinn von 600000 m³ Abraum im Jahr erreicht. Mit den Funktionseinheiten automatisches Planumschneiden und Seitenböschungsgestaltung bestimmt die BPS 5000 das fortgeschrittene internationale Niveau.

Der VEB Geräte- und Regler-Werke Teltow bietet zur Erfassung und Verarbeitung von Volumen- und Durchflußmeßwerten ein bausteinartig ausgebautes Gerätesystem an, das zur Realisierung von Automatisierungsaufgaben bei der Herstellung, Verarbeitung und Abgabe von flüssigen Produkten dient, die in Rohrleitungen strömen.

Wälzkolbenzähler, kombiniert mit Funktionseinheiten des Systems, ermöglichen den Aufbau von zuverlässigen Meß-, Steuer- und Regelungseinrichtungen.

Neben der Volumenanzeige können Woltmanzähler, kombiniert mit Zusatzgeräten, zur Volumen- und Durchflußfernübertragung sowie zur Ermittlung der Wärmemenge und Wärmeleistung eingesetzt werden.

Das elektrische Volumeneinstellwerk ME 02 ist ein weiterentwickeltes elektrisches Zusatzgerät zur Dosierung von Flüssigkeiten, bestehend aus Vorwahlgerät und Netzgerät, mit hoher Zuverlässigkeit und optimalem Masse-Leistungs-Verhältnis.

Zur Informationsgewinnung in der Prozeßautomatisierung ist mit den Silizium-Halbleiter-Meßumformern (Bild 1) und Absolutdruckwandlern ein System von robusten, zuverlässigen und servicefreundlichen elektrischen Druckwandlern entwickelt worden, die nach dem piezoresistiven Wirkprinzip arbeiten.

Die weiterentwickelten Druck- und Differenzdruckmeßumformer des VEB GRW Teltow sind für einen Nenndruck bis zu 40 MPa ausgelegt und einseitig bis zu diesem Nenndruck überlastbar. Die Meßbereichsskala reicht von 0—100 kPa bis 0—25 MPa. Das Ausgangssignal beträgt 0—20 mA oder 4—20 mA.

Für die Meßwerterfassung in der industriellen Meßtechnik der Meteorologie sowie der Forschung und Entwicklung wird ein elektrischer Absolutdruckabnehmer mit einer Masse von nur 45 g angeboten (hohe Meßgenauigkeit und Temperaturstabilität, Einsatzfähigkeit auch bei aggressiven Medien, robuste Konstruktion und Wartungsfreiheit).

Maschinenautomatisierung

Aus dem neuentwickelten System 700 stellt der VEB Numerik „Karl Marx" zur Leipziger Frühjahrsmesse 1985 Industrieroboter-steuerungen, Maschinensteuerungssysteme und Mikrorechnersteuerungen vor.

Die Industrieroboter-steuerung IRS 700 ist ein Steuerungstyp für alle prozeßflexiblen Roboter mit 2 bis 6 Achsen, wobei koordinierte, gleichzeitige Bewegungen von mehreren Achsen charakteristisch sind.

Durch eine industrieroboterspezifische Antriebskonstruktion ergibt sich eine raumsparende Bauweise des Steuerschrankes, eine besonders handliche Bedientafel mit Folientastatur erlaubt eine fehlerarme Programmierung und Bedienung vom technologisch günstigsten Standort aus (Bild 2 auf der 3. US).

Des weiteren ist die Programmeingabe über das Programmiergerät PRG 700 oder Bürocomputer durch Einsatz der verschiedenen Programmiersprachen sowie in kartesischen Koordinaten möglich. Dieses Gerät ist so ausgeführt, das wahlweise Lochstreifenleser bzw. -stanzer angeschlossen werden können.

Zur Vereinfachung der Programmierung von Bahnverläufen stehen Formelementdefinitionen, wie Gerade, Kreis, Spirale, Kegelschnitt zur Verfügung.

Eine modulare Software ermöglicht eine problemlose Anpassung der IRS an weitere Roboter mit Gleichstromantrieben. Einsatzbeispiele dazu wären am IR 10, IR 60, ZM 10, ZIM 60, ZIS 995, IR 2, IR 2 P und UNIZIM 30.

Bis zu 16 Roboter können mit dem Programmiergerät PRG 700 als Datenvermittlungseinrichtung zu einer Komplexsteuerung zusammengeschaltet werden.

Das Steuerungssystem CNC 700 ist für anspruchsvolle Werkzeugmaschinen in den Hauptanwendungsfällen Bohren, Fräsen, Drehen und Schleifen geeignet.

In dem CNC 700 sind die steuerungstechnischen Voraussetzungen für eine bedien-

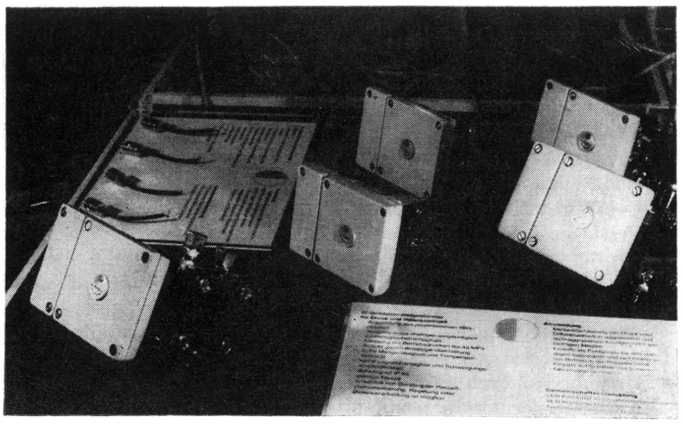


Bild 1. Meßumformer aus dem VEB Geräte- und Regler-Werke Teltow

freie Arbeitsweise der Maschinen über zwei Arbeitsschichten vorhanden.
Die wesentlichen Neuerungen gegenüber dem System 600 sind:

- parallele Arbeitsweise von zwei NC-Systemen
- Integration von Beschickungsroboter-steuerung in das CNC
- Grafikdisplay
- Positioniergeschwindigkeit 60 m/s, aufrüstbar bis 16 Achsen
- flexible Auslegung von Hard- und Software
- Flachfolientaster für Bedieneinheit.

Als Spitzenexponat stellt der VEB Numerik „Karl Marx" die MRS 700 vor, eine freiprogrammierbare Mikrorechnersteuerung für kontinuierliche und diskontinuierliche Prozesse.
Durch die Vielfalt von 5 Varianten (MRS 701—705) läßt sich diese Mikrorechnersteuerung universell in allen Industriebereichen anwenden. Das Spektrum reicht von der Ein-Karten-Steuerung bis zur voll ausgebauten PC-Steuerung mit einer Vielzahl von E/A-Baugruppen.
Einsatzbeispiele dafür sind:

- Textil- und Konfektionsmaschinen
  - Nähroboter
  - chemische Reinigungsmaschinen
  - Querfaltenmaschinen
  - Doppeltischwebmaschinen
  - Kettenwirkmaschinen
- Maschinen für Nahrungsmittelbearbeitung
  - Kakao- und Schokoladenautomaten
  - Verpackungsautomaten
- Bearbeitungsmaschinen
  - Druckgußmaschinen
  - Spritzgußmaschinen.

Die Programmiertechnik ist für eine schnelle Prozeßanpassung über die Bildschirmeinheit PRG 700, eine tragbare Bedientafel BT 700 oder eine Bedien- und Anzeigeeinheit zur Anzeige und Änderung von Prozeßparametern während des Betriebes vorgesehen.
Die Steuerung in maximaler Ausbaustufe hat bis zu 900 Ein- und Ausgabekanäle sowie 4 INT- und 4 Zählsammelleitungen für den direkten Prozessorzugriff. Alle Eingänge können interruptfähig geschaltet werden. Ein Anschluß zur Tastaturprogrammierung ist an der Steuerung vorhanden, sowie ein Anschluß für Kopplungen zu übergeordneten Steuerungen sind an der Steuerung vorhanden.

Eisenbahnautomatisierung

Dem internationalen Trend, die derzeitigen Relaisbauformen zukünftig durch Mikroelektronik zu ersetzen, wird der VEB Werk für Signal- und Sicherungstechnik als Generallieferant mit der zur Messe vorgestellten elektronischen Achszählanlage AZ 1 MR 83, gerecht. Diese Achszählanlage, die der automatischen Gleisfreimeldung dient, ist eine Gemeinschaftsproduktion des VEB WSSB mit der polnischen Firma ZWUS Katowice. Sie erfüllt die abgestimmten technischen Forderungen der Staatsbahnen des RGW.
Der Einsatz der Achszählanlage erfolgt dort, wo die Anwendung von Gleisstromkreisen aus technischen oder ökonomischen Gründen nicht möglich oder nicht sinnvoll ist. Das trifft insbesondere für Gleisanlagen ohne bzw. mit schlechter Gleisisolierung und Streckenabschnitte größerer Länge zu.
Die Achszählanlage wird für die Freimeldung von Streckengleisen, Bahnhofsgleisen, Weichenabschnitten, Kreuzungsabschnitten sowie vom Weichen- und Zwischenabschnitten in Ablaufstellwerken verwendet und kann in Stellwerksystemen beliebiger Bauart eingesetzt werden.
Der VEB WSSB präsentiert weiterhin die mikrorechnergesteuerte Funktions-Zeit-Druckeinrichtung FZD 2 MR 82. Die FZD 2 ist eine Bedienungs- und Meldungs-Registrier-Einrichtung für den Einsatz in Stellwerken oder anderen Relaisanlagen (Sicherungstechnik in anderen Bereichen der Industrie). Sie kann bis zu 1216 Informationen (Kontakte) aus Anwenderanlagen erfassen und zeitfolgerichtig zusammen mit den Zeitangaben alphanumerisch ausdrukken.
Zur Erhöhung der Sicherheit für die Fahrgäste, Transportgüter und Anlagen im schienengebundenen Verkehr entwickelte der VEB Geräte- und Regler-Werke Teltow das punktförmige Zugbeeinflussungssystem PZ 80, das auf der Basis der Dreifrequenzübertragung beruht. Es bildet die Grundlage zur Vermeidung von betriebsgefährdenden Situationen durch Fehlhandlungen des Triebfahrzeugführers.

Elektroenergieanlagen

Im Mittelpunkt des angedeuteten Schaltfeldes vor Halle 18 steht ein neuer Leistungstransformator aus dem VEB Transformatorenwerk „Karl Liebknecht" Berlin, der für eine Leistung von 40 MVA bei Fremdkühlung und 30 MVA bei Selbstkühlung unter den klimatischen Bedingungen des Käuferlandes bemessen wurde. Die 220-kV-Wicklung ist im Sternpunkt mit einem Stufenschalter für 27 Stellungen ausgestattet. Die Unterspannungswicklung weist die Besonderheit auf, daß sie von 63 kV auf 31,5 kV bei gleicher Leistung umschaltbar ist.
Der aus dem Kombinatsbetrieb VEB Transformatoren- und Röntgenwerk „Hermann Matern" Dresden (TuR) kommende Verteilertransformator mit Rechteckkern TD 1602—20 gehört zu einer Reihe neuer Verteilertransformatoren, deren Serienproduktion soeben angelaufen ist (Bild 3 auf der 3. US).
Diese Transformatoren zeichnen sich u.a. aus durch

- niedrige Aktivteil-, Öl- und Gesamtmasse
- kleine Abmessungen
- niedrige Leerlauf- und Kurzschlußverluste
- günstige Transport- und Aufstellbedingungen.

Die neuen Verteilertransformatoren sind mit Silikonöl gefüllt und bieten damit die Vorteile flüssigkeitsisolierter und -gekühlter Transformatoren.
Einen neuentwickelten Sternpunktbildner SOB 400 stellt der VEB Transformatorenwerk Reichenbach vor, außerdem werden zwei Ortsnetztransformatoren in moderner Wellwandausführung aus der DOKa-Baureihe der VEM-Drehstrom-Öl-Transformatoren gezeigt.
Als spezielle Variante wird ihr Einsatz in Gittermast-Trafo-Stationen des VEB Starkstrom-Anlagenbau Magdeburg demonstriert (Bild 4).

Leittechnik

Als Produzent und Generallieferant kompletter Elektroenergieübertragungs- und -verteilungssysteme bietet das Kombinat auch eine mikrorechnergestützte Leittechnik für Energieverteilungs- und -übertragungsanlagen an und demonstriert ihren Einsatz zur Messe. Diese Leittechnik auf der Basis eines Mehrebenen-Mikrorechner-Systems (Bild 5 auf der 3. US) trägt sowohl dem unterschiedlichen Aufbau der Anlagen und Netze sowie den Anforderungen aus der Betriebsführung Rechnung als auch zukünftigen Erweiterungen durch den modularen Aufbau der Hard- und Software.
Für den Anwender ergeben sich gegenüber herkömmlichen Anlagen wesentlich Vorteile:

- vereinfachte Bedienung durch weitgehende Automatisierung von Betriebsabläufen und Dialog zwischen Bedienungspersonal und Rechner
- überschaubare Darstellung des Momentanzustandes der Anlage und kurze Reaktionszeiten bei Fehlern
- Prozeßdatenspeicherung über längere Zeiträume
- reduzierter funktionsbezogener und routinenmäßiger Wartungsaufwand durch weitestgehenden Wegfall elektromechanischer Wirkprinzipien
- Erhöhung der Zuverlässigkeit durch Selbstüberwachung
- hohe elektromagnetische Verträglichkeit (EMC)
- verringerter Platzbedarf und reduzierter Materialaufwand, insbesondere an Kabeln und Leitungen.

Interessant ist in diesem Zusammenhang auch die Lastprognose- und Kontingentüberwachungseinrichtung, ein mikrorechnergestütztes Informationssystem, das auf der Basis ständig erfaßter Prozeßdaten (Wirk- und Blindleistung, Erzeugung, Verbrauch) den Lastverlauf an definierten Netzknoten eines Elektroenergiesystems für einen tariflich festgelegten Vorhersagezeitraum prognostiziert, um die Netzfahrweise operativ zielgerichtet zu beeinflussen.
Eine neue Informationselektronik kommt auch bei den Hochspannungserzeugern für Elektroabscheider zur Abgasreinigung (Elektrofilter) zur Anwendung (Bild 6).
Der VEB Transformatoren- und Röntgenwerk „Hermann Matern" stellt eine Typenreihe (100 ··· 1800 mA) her, die mit Thyristoren für die Steuerung der Leistung, Silizium-Bauelementen für Gleichrichter, Regelung und Informationsverarbeitung ausgerüstet ist. Die Thyristorsteuerung garantiert eine schnelle Lichtbogenlöschung im Elektroabscheider, wodurch die Beanspruchung des Elektrodensystems auf ein Minimum reduziert wird.
Für den Einsatz in Stellaggregaten zur Spannungskonstanthaltung und ähnliche Aufgaben der Stromversorgung in Industrieanlagen ist der neue Dreiphasen-Stelltransformator mit Gleitkontakten GDs 33/380 1 M sp für ±-Verstellung geeignet. Er gehört zu einer Typenreihe von TuR-Stelltransformatoren, die sich von anderen Ausführungen vor allem dadurch unterschieden, daß die Stromentnahme von der Kontaktbahn über spezielle Metallgleitkontakte mit flexiblen Ableitungen anstelle der herkömmlichen Kohlerollen erfolgt.

Bild 4. Gittermast-Transformatoren-Station 10/0,44 kV

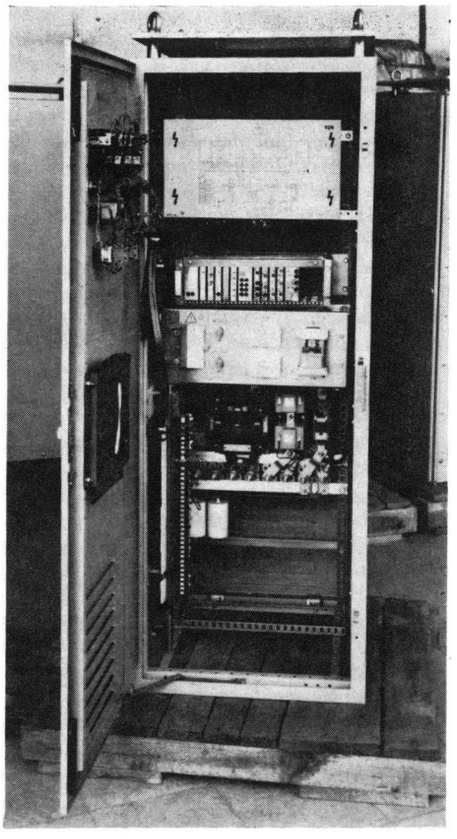


Bild 6. Steuerschrank für TuR-Hochspannungserzeuger für Elektroabscheider Fotos: Werkfoto

Das ermöglicht einen wesentlichen höheren Entnahmestrom je Trafo-Schenkel.
Neue Wandler gehören ebenfalls zur Messeofferte des Kombinates. Für den Einsatz in Niederspannungsschaltanlagen kleiner Bauart hat TuR eine Reihe von Aufsteckwandlern der Reihe 0,5 geschaffen, die in den technischen Parametern, der Baugröße sowie den Durchbrüchen für die Primärleiter den Anwenderbedingungen optimal angepaßt sind (Bild 7 auf der 3. US). Sie sind mit einem Plastgehäuse klimageschützt ausgeführt, die Fußbefestigung entspricht dem Rastermaß $n \times 25$.

Hochspannungs-Prüfanlagen

Diese kurze Vorstellung wäre ohne die abschließende Erwähnung eines Spezialgebietes des Kombinates unvollständig. Mit TuR Dresden gehört zum Kombinat Automatisierungsanlagenbau auch der Produzent und Generallieferant kompletter Hochspannungs-Prüffelder und -Laboratorien sowie einer umfangreichen Palette von Einzelanlagen und -geräten der Hoch- und Niederspannungsprüftechnik. Zur Frühjahrsmesse 1985 wird das Modell einer für die Sowjetunion vorgesehenen 3-MV-Wechselspannungs-Prüfanlage erstmals ausgestellt.
Gegenwärtig wird in der Sowjetunion die Erhöhung der Übertragungsspannung auf 1800 kV und in der Perspektive auf 2500 kV vorbereitet. Für Untersuchungen an den Isolierungen dieser künftigen Drehstromübertragungssysteme sind Prüfanlagen mit größeren Leistungen und Nennspannungen bis 3 MV erforderlich.
Da die bisher gebauten Prüftransformatoren die in Aussicht genommenen Spannungen und hohen Prüfleistungen nicht mit ökonomisch vertretbarem Aufwand realisieren lassen, mußte ein neuer Prüftransformatorentyp entwickelt werden, der als Baustein für eine neue Generation extrem leistungsfähiger Wechselspannungs-Prüfanlagen eingesetzt werden kann.
Mit dem neuentwickelten Wechselspannungs-Prüftransformator für 1,2 MV/10 A mit einer Masse von etwa 110 t lassen sich folgende Prüfanlagen aufbauen:

	Prüfwechselspannung	Belastungsstrom	Prüfschaltspannung
einstufig	1200 kV	10 A	1600 kV
zweistufig	2000 kV	6,25 A	3000 kV
dreistufig	3000 kV	4,2 A	3900 kV

Eine mehrstufige Prüfanlage ermöglicht darüber hinaus die Reihen-Parallelschaltung der Prüftransformatoren zur Erhöhung des Abgabestromes sowie den Betrieb in Drehstromschaltung und in Gegenphase zur Prüfung der Isolation zwischen den Phasen und von offenen Trennstrecken.
Mit der im Modell vorgestellten Wechselspannungs-Prüfanlage 3 MV, 4,2 A einschließlich Schaltspannungserzeuger 3,9 MV schafft TuR den hochspannungsprüftechnischen Vorlauf für die notwendigen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten. Diese Prüfanlage geht mit ihren Parametern weit über den derzeitigen Weltstand hinaus. Gleichzeitig liefert die bei ihrer Entwicklung geleistete Grundlagenforschung zur Beherrschung derartig hoher Spannungen dem künftigen Anwender bereits wertvolle Erkenntnisse für die Gestaltung seiner Isolieranordnungen und Betriebsmittel.

A. Tieding, Berlin; G. Stötzner, Dresden

EA 1873

Kombinat VEB Kabelwerk Oberspree „Wilhelm Pieck" Berlin

Bei den Neu- und Weiterentwicklungen des Kombinates VEB Kabelwerk Oberspree (KWO) „Wilhelm Pieck", die zur Leipziger Frühjahrsmesse 1985 vorgestellt werden, stehen solche Gebrauchseigenschaften im Vordergrund, wie Erhöhung der Übertragungsleistung und Reduzierung der spezifischen Verluste, Erhöhung der Kurzschlußfestigkeit, verbesserte Temperaturbeständigkeit, Senkung des Montage- und Wartungsaufwandes, Verbesserung des Masse/Leistungsverhältnisses.

Eine neue Generation der Fernmeldekabel stellen die **Lichtwellenleiterkabel** dar. Das Kombinat stellt diese modernen, leistungsfähigen Erzeugnisse einschließlich der dazugehörigen Garnituren zur Verbindung, Aufteilung und Abschluß der Kabel her. Lichtwellenleiter des Kombinates arbeiten bereits zuverlässig in mehreren Übertragungssystemen. Sie sind entsprechend den Erfordernissen der verschiedenen Anwender konzipiert und enthalten bis zu 16 Lichtleiter mit unterschiedlicher Struktur und spezifischen Eigenschaften (Bild 1). (Anm. der Red.: Das Thema Lichtwellenleiterkabel wird den Schwerpunkt des Heftes 4/85 der Fachzeitschrift ELEKTRIE bilden. Unter anderem werden neben theoretischen Beiträgen auch Autoren aus dem KWO mit Beiträgen aus der Praxis zu Wort kommen.)
Zu den dominierenden Erzeugnisgruppen im Exportgeschäft des Kombinates gehören die Starkstromkabel.
Die Mehrheit der Starkstromkabel hat Aluminiumleiter. Sie bilden die Grundlage für eine optimale technische und ökonomische Gestaltung moderner Starkstromkabel, die mit Leiterisolierungen aus Polyäthylen, PVC oder Papier/Masse angeboten werden. Gute elektrische Leitfähigkeit, geringe Masse, hohe Erschütterungsfestigkeit, niedriger Reduktionsfaktor, erleichterte Kabellegung und Montage sind anerkannte Vorzüge von Aluminium-Kabeln.
Das polyäthylenisolierte Mittelspannungskabel vom Typ AXKJ 7/12 kV 3 × 240/35 mm² sm nach schwedischem Standard SS 424 14 16 erhielt zur Leipziger Frühjahrsmesse 1983 eine Goldmedaille des Leipziger Messeamtes. Es ist besonders geeignet für den Einsatz bei schwierigen Netzverhältnissen. Durch den Einsatz von vernetztem Polyäthylen für die Isolierung (XLPE-Kabel) ergeben sich für den Anwender höhere Übertragungsleistungen. Außerdem ist bei XLPE-Kabeln eine höhere Störlastsicherheit gewährleistet.
Zum Sortiment der papierisolierten Starkstromkabel gehören auch die Ölkabel für Nennspannungen von 30—150 kV in den verschiedenen Spezialkonstruktionen. Für diese Spitzenerzeugnisse erfolgt auch die Projektierung der Kabelanlagen und die Durchführung der Chefmontagen.
Aus der Palette der Neu- und Weiterentwicklungen werden nachfolgend einige Exponate vorgestellt.

VPE-Mittelspannungskabel mit längswasserdichtem Schirm

Das entwickelte längswasserdichte Ein-

leiterkabel aus vernetztem Polyäthylen (VPE) wird für den Mittelspannungsbereich von 10 bis 30 kV eingesetzt und ist besonders für Gebiete mit erschwerten Legebedingungen, d.h. bei erhöhtem Risiko von Mantelbeschädigungen, geeignet. Vorteilhaft ist der Einsatz dieses Kabels ebenfalls in Gebieten mit hoher Bodenfeuchtigkeit, Schichtenwasser oder im Grundwasserbereich. Das VPE-Kabel entspricht den Forderungen internationaler und nationaler Standards.

Das Kabel besteht aus einem runden hochverdichteten mehrdrähtigen Aluminium- oder Kupferleiter (Querschnittsbereich 50 bis 240 mm²), der Leiterglättungsschicht, der hochreinen PE-Isolierung und der extrudierten äußeren Feldbegrenzungsschicht. Die Leitschichten und die Isolierung werden unter Stickstoffatmosphäre chemisch vernetzt. Über der Polsterung aus halbleitendem Band oder halbleitendem Quellflies ist der Kupferdrahtschirm mit Kupferband-Gegenwendel angeordnet. Zur Realisierung der Längswasserdichtigkeit wird über dem Kupferdrahtschirm mit speziell ausgelegten Spritzwerkzeugen ein Gummiinnenmantel im Preßverfahren extrudiert.

Durch eine Abstimmung der Aufbauelemente (Kupferdrahtdurchmesser, Breite des Gegenwendels) und optimale Parameter der Gummiinnenmantelextrusion werden die Lücken zwischen den Schirmdrähten sowie die Hohlräume unter dem Kupferbandgegenwendel ausgefüllt.

Durch die längswasserdichte Ausführung im Schirmbereich wird die Betriebszuverlässigkeit der VPE-isolierten Mittelspannungskabel des Kombinates, speziell unter dem Aspekt des Einsatzes unter extremen Bedingungen, weiter verbessert.

Sortiment 1-kV-VPE-Kabel

Das Sortiment der VPE-Kabel wurde in den letzten Jahren um Niederspannungskabel der Nennspannung 0,6/1 kV erweitert.

Die Nutzung der langjährigen Produktions- und Prüferfahrungen und die konsequente Beibehaltung der Trockenvernetzung bieten die Gewähr für die gleiche hohe elektrische Sicherheit, Betriebszuverlässigkeit und Lebensdauer der 1-kV-VPE-Kabel.

Die Niederspannungskabel werden in 1-, 3- oder 4adriger Ausführung mit runden oder sektorförmigen Cu- oder Al-Leitern im Querschnittsbereich von 50 bis 300 mm² gefertigt. Während bei Cu-Leitern grundsätzlich mehrdrähtige Leiterausführungen zum Einsatz kommen, werden bei Al-Leitern neben mehrdrähtigen auch eindrähtige (Massiv-)Leiter eingesetzt. Bei Kabeln mit Cu-Leitern wird zwischen Leiter und VPE-Isolierhülle eine geeignete Trennschicht (Verzinnung, Bänderung) angewendet, oder es werden der VPE-Isoliermischung Cu-Desaktivierungsmittel zugemischt.

Über verseilten Adern wird eine extrudierte oder gebänderte gemeinsame Aderumhüllung aufgebracht. Darüber kann ein konzentrischer Leiter aus Cu-Drähten mit einem gegenläufigen Cu-Band als Querleitwendel oder auch eine zugfeste Bewehrung aus verzinkten Stahldrähten mit ggf. einer Gegenwendel angeordnet werden. Den äußeren Abschluß bildet ein Plastmantel, normalerweise aus temperaturfesten PVC-Mischungen, entsprechend den Einsatzforderungen.

Das Sortiment umfaßt Niederspannungskabel 0,6/1 kV der Ausführungen:

- unbewehrte Kabel
  NA2XY; N2XY nach DDR-Standard KWO-S 431.20,
  IEC 502 oder VDE 0272
- Kabel mit konzentrischem Cu-Leiter
  TFSP nach NEMKO 182.52 oder NEN 194.80
  AXKJ nach SEN 24 14 15
  AXCMK nach SFS 4879
- stahlrunddrahtbewehrte Kabel
  NA2XRY; NA2XRGY nach DDR-Standard KWO-S 431.20
  oder IEC 502
  XLPE/SWA/PVC nach BS 5467.

Alle VPE-Niederspannungskabel ermöglichen durch die hohen zulässigen Betriebstemperaturen von

- 90°C für den Normalbetrieb
- 130°C für den Störlastbetrieb

hohe Übertragungsleistungen für Dauerlast- oder Havarielastfälle. Im Kurzschlußfall bieten 250°C für die Leiter und 350°C für den konzentrischen Cu-Leiter eine hohe Sicherheit.

VPE-Niederspannungskabel sind, wie alle Plastkabel, in Innenräumen, im Freien, in Erde, im Grundwasser sowie in Trassen mit großen Höhenunterschieden universell einsetzbar. Die Legung kann ohne besondere Zusatzmaßnahmen bis zu Kabeltemperaturen von — 5°C erfolgen.

Stahldrahtbewehrte VPE-Niederspannungskabel können während und nach der Legung hohen mechanischen Beanspruchungen ausgesetzt werden. Ihre Montage ist gegenüber papierisolierten Kabeln, wie bei PVC-Niederspannungskabeln, einfach.

Geeignete Garnituren stehen zur Verfügung.

Auf Grund ihrer hohen zulässigen Betriebstemperaturen werden VPE-Niederspannungskabel in Netzen mit hohen Übertragungsleistungen und mit Störlastbetrieb in Klimagebieten und Einsatzfällen mit hohen Umgebungstemperaturen bevorzugt eingesetzt.

Sorgfältige Prüfungen während und nach der Fertigung auf Basis spezifischer Prüfvorschriften oder der IEC 502/1983 bieten die Gewähr für eine hohe und stabile Qualität der VPE-Niederspannungskabel.

Sondergummimantelleitung NSIAGGöu — 3,6/6 kV

Der Einsatzbereich von Leitungstrossen NTSCEöu nach dem Standard TGL 21805 erstreckte sich bisher vom Trommelbetrieb bis zur nahezu festen Legung. In vielen dieser Anwendungsfälle wurden die mechanischen Eigenschaften des feindrähtigen Cu-Leiters nicht ausgenutzt.

Dieser Sachverhalt führte zur Entwicklung der Sondergummimantelleitung NSIAGGöu 3,6/6 kV als Alternative zu den genannten Leitungstrossen.

Das Einsatzgebiet dieser Neuentwicklung umfaßt den Bereich der sogenannten quasistationären Legung für die u.a. folgende Anwendungsfälle charakteristisch sind:

Bandanlagen im Tagebaubetrieb, Vorfeldentwässerungen für Tagebaue, Baustromversorgungen, Anschluß von Geräten mit geringer Umsetzungs- oder Bewegungshäufigkeit, Tagebaugroßgeräte mit Erschütterungen und geringer Relativbewegung. Vorteilhaft ist für viele dieser Einsatzfälle, daß die Leitung wegen ihrer geringen Masse leicht zu handhaben ist.

Die geringe Masse hat ihre Ursache in den verwendeten mehrdrähtigen Aluminiumleitern anstelle der feindrähtigen Kupferleiter bei Leitungstrossen. Die verwendeten Gummimischungen sind für beide Leitungstypen identisch, so daß auch der Betrieb bei — 30°C bzw. — 40°C (Sonderausführung) gewährleistet ist.

Das Leitungssortiment umfaßt die Ausführungen 3 × 35 (35) mm² bis 3 × 240 (70) mm², wobei der nicht aufgeteilte Erdleiter ab 3 × 50 (35) mm² mit vermindertem Querschnitt ausgeführt ist.

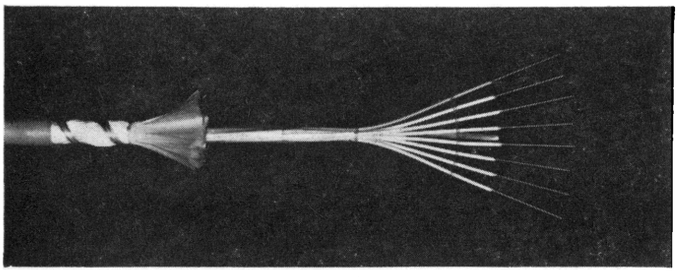


Bild 1
Lichtwellenleiterkabel 4Y2YT2Y 8 × G1

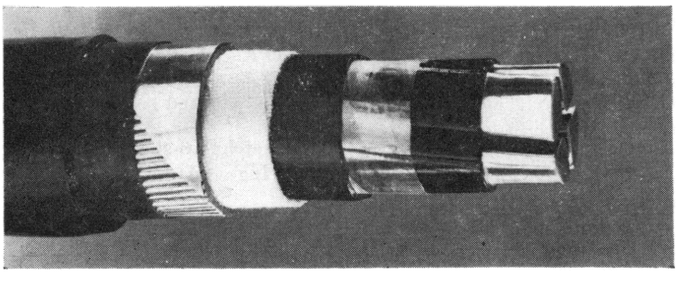


Bild 2. PE-Kabel NA2XRGY 4 × 185 se 0,6/1 kV

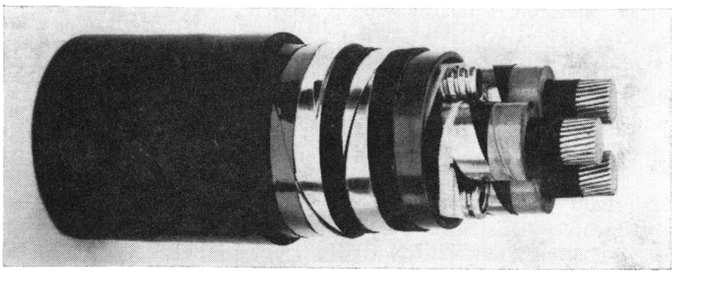


Bild 3. Zwickelölkabel NÖHKzBY-K 3 × 300 rm 38/66 kV

Fotos: Werkfoto

Der Erdleiter steht wie bei den Leitungstrossen mit den Feldbegrenzungsschichten der Adern in elektrisch leitender Verbindung.
Diese neuentwickelte Sondergummimantelleitung NSIAGGöu — 3,6/6 kV stellt eine für den vorgesehenen Einsatzzweck optimale technisch-ökonomische Lösung dar.

Gummischlauchleitungen mit Stützorgan, NHGG2Töu-J

In Förder- und Transportanlagen mit sehr hohen Fahr- bzw. Trommelgeschwindigkeiten, bei Zwangsführung der Leitung, überfahrbaren Speisepunkten, kleinen Biegeradien sowie höheren statischen und dynamischen Zugbeanspruchungen unterliegen herkömmliche Leitungen (NSHöu, NQöu) einem sehr schnellen Verschleiß. Diese Beanspruchungen können u.a. zu den gefürchteten Verdrallerscheinungen — sog. „Korkenziehern" — und letztlich zum Ausfall der Leitungen auf Grund von Leiterbrüchen führen.
Eine sichere Beherrschung derartiger Beanspruchungen erfordert die Verwendung von Spezialleitungen, die sich durch eine erhöhte Verdrehungssteifigkeit ohne Beeinträchtigung des Biegeverhaltens auszeichnen. Konstruktiv wird diese Eigenschaft durch eine Zweimantelausführung mit eingebettetem textilem Stützgeflecht sowie durch eine verkürzte Schlaglänge des Aderverseilverbandes erreicht.
Die neuentwickelten Spezialleitungen NHGG2Töu-J wurden in TGL 21805/24 standardisiert. Sie werden z.Z. in folgenden Ausführungen gefertigt:

- vieradrig mit Leiternennquerschnitten 10 mm² bis 35 mm²
- fünfadrig mit Leiternennquerschnitten 10 mm² und 16 mm²
- Leitungstyp NHGG2Töuk-J mit erhöhter Kältebeständigkeit (— 40°C).

Die Anwendung des genannten Konstruktionsprinzips ist auch bei gummiisolierten, flexiblen Steuerleitungen vorgesehen.
Folgende charakteristische Bedingungen kennzeichnen den Einsatz der Gummischlauchleitungen mit Stützorgan:

- Mindestbiegeradius 7,5 × Leitungsdurchmesser
- höchste Trommelungs- bzw. Fahrgeschwindigkeit: V = 120 m/min bei einer Beschleunigung bis 0,4 m/s²
- Zugbelastung im gleichmäßigen Trommelbetrieb bis 15 N/mm² des gesamten Kupferquerschnitts
- dynamische Zugbelastung (Spitzenbelastung) bis 25 N/mm² des gesamten Kupferquerschnitts.

Die Wirksamkeit des Konstruktionsprinzips wurde durch umfangreiche Praxiserprobungen nachgewiesen. Gegenüber den bisher verwendeten NSHöu- oder NQöu-Leitungen wird eine vielfache Lebensdauer unter extremen Beanspruchungen erreicht.

Die Leitungen sind durch eine äußere Bedruckung gekennzeichnet, aus der sowohl der Leitungstyp als auch Aderanzahl und Leiternennquerschnitt ersichtlich sind.

38/66-kV-Zwickelölkabel

Innerhalb des umfangreichen Ölkabelsortimentes, das sich bis zu Nennspannungen von 150 kV erstreckt, wird ein Spezialsortiment von 38/66-kV-Ölkabeln in Ein- und Dreileiter-Ausführung für den Export gefertigt.
Bevorzugte Typenvertreter dieser Spezialkabel sind 38/66-kV-Zwickelölkabel NÖHKzBY-K.
Die weiterentwickelten 38/66-kV-Zwickelölkabel sind besonders vorteilhaft für Netze mit einer maximalen Betriebsspannung bis zu 72,5 kV, insbesondere in tropischen Klimagebieten.
Sie sind in dieser Spannungsebene Gasdruckkabeln und Einleiterölkabel-Systemen bezüglich Lege- und Montageaufwand, Platzbedarf und erforderlicher Trassenbreite überlegen.
Als Leiter werden mehrdrähtige verdichtete Cu-Rundleiter bis zu 300 mm² verwendet. Die Isolierungsdicke der mit Leiter- und Aderschirm versehenen Zwickelölkabel beträgt 7,0 mm. Neuartig sind die in den Zwickeln eingebrachten unmagnetischen Al-Stützschläuche, die den axialen Ölströmungswiderstand merklich verbessern und den Kabeln eine hohe mechanische Stabilität verleihen. Für den über dem Verseilverband angeordneten gemeinsamen Mantel wird eine besonders kriechfeste Bleispeziallegierung eingesetzt. Die Druckschutzbandage besteht aus 0,1 mm dicken rostfreien unmagnetischen Stahlbändern. Als zusätzlicher mechanischer Schutz wird bei diesen Zwickelölkabeln eine Stahlband-Bewehrung aus verzinkten Stahlbändern über einem hochwertigen Polster aus korrosionsfesten textilen Bändern angeordnet.
Ein wirkungsvoller Korrosionsschutz des Bleimantels und der Druckschutzbandage wird durch temperaturfeste Spülmassen, Bandbewicklungen und die abschließende geschlossene extrudierte Plastschutzhülle sicher gewährleistet.
Im Zuge der konstruktiv-technologischen Weiterentwicklung konnten höhere Leitertemperaturen von

- 85°C für den Normalbetrieb
- 100°C für den Störlastbetrieb
- 150°C im Kurzschlußfall

für eine unveränderte Lebensdauer von 50 Jahren zugelassen werden. Die Kabel können bis zu einem Öldruck von 600 kPa (statisch) und 1100 kPa (momentan) betrieben werden.
Bei diesen Weiterentwicklungen konnte das Leistungsgewicht nochmals verringert werden. Die Kabel können selbst beim Typenvertreter NÖHKzBY-K 3 × 300 rm/v in Lieferlängen von 500 m gefertigt und auf Spezialölkabeltrommeln, versehen mit 2 Transportöltanks, geliefert werden. Sie sind auch durch die äußere Plastschutzhülle universell in Innenraumanlagen, Kanälen, im Freien und in Erde einsetzbar. Die PVC-Mantelmischung ist in den Ausführungen „fungizid", „bakterizid" und „insektizid" ausführbar.
Konstruktions- und Anwendungsparameter dieser Kabel entsprechen vollständig den internationalen Empfehlungen IEC 183; IEC 228; IEC 502; IEC 287, soweit zutreffend. Die Prüfungen auf Basis der IEC 141-1 bieten die Gewähr für eine hohe und stabile Qualität der Erzeugnisse.
Für diese Kabel stehen geeignete Garnituren (Endverschlüsse, Aufteilungen, Dreileiter-Verbindungsmuffen, Öldrucktanks in 3 Größen) zur Verfügung. Neuartig ist eine komplette Alarm- und Meldeanlage für die Öldrucküberwachung.

Rundlitze 10FgFlPtu für Hochspannungsmaschinen der Wärmeklasse „F"

Als Ableitungen oder Schaltleitungen werden die Leitungen bezeichnet, mit denen in Elektromaschinen die Verbindung zwischen Motorwicklung und Klemmbrett hergestellt wird.
Mit dem Ableitungstyp 10FgFlPtu wird eine Neuentwicklung vorgestellt, die für besonders hohe technische Anforderungen ausgelegt ist, wie sie beispielsweise in Hochspannungs-Asynchronmaschinen mit 6 kV Nennspannung auftreten.
10FgFlPtu enthält als Leiter eine Kupferlitze mit 50 mm² Querschnitt. Die Isolierung besteht aus 10 Lagen Folienglimmband, einer Lage Polyesterfolie und einer Lage Polyesterseidenumflechtung.
Die Umflechtung verleiht 10FgFlPtu eine hohe Abriebsfestigkeit. Durch entsprechende Wahl des Harz-Bindemittels und durch den Einsatz einer besonderen Polyesterseide wird erreicht, daß 10FgFlPtu auch nach thermischer Beanspruchung noch flexibel ist.
Der Außendurchmesser von 10FgFlPtu beträgt maximal 17 mm. Im geraden Zustand muß eine Prüfspannung von 30 kV für 1 Minute, im gebogenen Zustand eine Prüfspannung von 20 kV für 14 Stunden gehalten werden.
10FgFlPtu ist in einem Werkstandard standardisiert und für Hochspannungsmaschinen und Wärmeklasse „F" (155°C) geeignet.

Sonderschweißleitung für MIG/MAG-Schutzgasschweißung

Die Sonderschweißleitung NSSchY „PSD-koax" ist ein neuentwickeltes Erzeugnis.
In Kombination mit einem Schweißbrenner kann diese Leitung in Schutzgasschweißanlagen oder für das Sauerstofflichtbogentrennverfahren eingesetzt werden.
Die koaxiale Anordnung des Schweißleiters, der Steueradern und des Gasführungsschlauches gewährleisten einen minimalen Durchmesser und eine hohe Flexibilität der Leitung.
Die Schlauchausführung gestattete das Schweißen mit einem oder zwei Gasen bzw. mit einem Gas und Kühlmittel.

Die Leitung ist für Schutzgasschweißung in den Querschnitten von 16 mm² bis 50 mm² und für das Sauerstofflichtbogentrennen von 70 mm² bis 95 mm² standardisiert.
Die Nennspannung beträgt 120/200 V.
Zulässiger Temperaturbereich: — 25°C bis + 70°C.

Strombelastbarkeit bezogen auf 60% ED		Außen-⌀ mm	Masse je km in kg
bei 16 mm²	160 A	14,5	270
bei 25 mm²	250 A	19,0	420
bei 35 mm²	315 A	19,0	520
bei 50 mm²	400 A	20,0	670

Die Leitungen zeichnen sich durch hohe Flexibilität, geringe Masse und Durchmesser aus.

C. Henke, Berlin

EA 1875

Kombinat
VEB Keramische Werke
Hermsdorf

Durch ständige Neu- und Weiterentwicklungen haben die 19 Betriebe des Kombinats mit dem Stammwerk in Hermsdorf an der Spitze, nicht nur bei der Anwendung der Mikroelektronik, sondern auch bei der eigenen Produktion von Erzeugnissen der Hybridtechnik sowie passiver elektronischer Bauelemente einen beachtlichen Stand erreicht.

Das Erzeugnisprofil des KKWH umfaßt:

- Aktive elektronische Bauelemente und Bauteile in Form von Dickschicht- und Dünnfilmtechnik
- Passive elektronische Bauelemente und Bauteile, auch weich- und hartmagnetische Ferriterzeugnisse (Bild 1), temperatur- und spannungsabhängige Widerstände, piezoelektrische Wandler, Hochleistungs- Hochfrequenz-Kondensatoren und Isolierbauteile für die HF-Technik
- Isolierkörper und Isolatoren für Apparate und Freileitungen für höchste Spannungen, Ventilableiter, Stützer für Schaltanlagen und Geräte (Bilder 2 und 3)
- Elektroinstallationsmaterialien für den Wohnungs- und Industriebau mit Schaltern und Tastern, Steckvorrichtungen, Fassungen, Installations- und Klemm-Material, Abzweig- und Verteilungsbauteilen sowie Sicherungsmaterial
- explosionsgeschützte Leuchten (Bild 4) und Installationsmaterial für die Chemie- und weiterverarbeitende Industrie mit effektiven Einsatzformen von der Rohstoffgewinnung bis zu den hochveredelten Verarbeitungsstufen
- Niederspannungsschaltgeräte für die Industrie mit Verteilungselementen in Guß- und Stahlblechgehäusen, Steckvorrichtungen, Last-Trennschalter (Bild 5)
- Hochverschleißfeste, hochtemperaturbeständige, korrosionsfeste oxidkeramische Erzeugnisse für viele Industriezweige, z.B. Faden- und Drahtleitelemente, Schleifkörper, Hochtemperaturrohre, Düsen für Schweißtechnik und Sandstrahlgebläse, Tauchthermoelement-Schutzröhrchen, Hochtemperatursteine, Laboratoriumsgeräte sowie weitere Bauteile für die Elektrotechnik und Elektronik
- Bauteile und Elemente für die Hochfrequenztechnik und Tragkörper für Kohle-, Metallschicht- und Drahtwiderstände, Bau- und Isolierteile aus Steatit
- Isolier- und Bauteile für Elektrowärmekeramik und Beleuchtungsgeräte (Bild 6), z.B. Isolierperlen, Heizleiterträger, keramische Rohre, Lichtbogenschutz für Schaltgeräte (Funkenschutzkammern), Keramikteile für Gasbeleuchtung und Gasheizung
- Apparate und Anlagen aus Hartporzellan und Steinzeug für die chemische und artverwandte Industrie, wie Bodenkolonnen, Standgefäße, Destillierkessel, Rührmaschinen, Trommelmühlen und Mahltrommelaggregate, Geradsitz- und Membranventile, Hähne, Wannen, Rohre und Formstücke sowie Füllkörper für Kolonnen
- Isolator-Zündkerzen für Otto-Motoren in allen Gewindegrößen und Wärmewerten, Rennkerzen und Spezialkerzen
- Rohrheizkörper mit Aluminium- oder Stahlmantel für Geräte-, Raum-, Boden-, Weichen- und Waggonbeheizung sowie Liegeplatzbeheizung in der Tieraufzucht.

Mit diesem Erzeugnisprofil sichert das KKWH den Anwendern in der Steuer-, Regel- und Automatisierungstechnik, Nachrichtenelektronik, Rundfunk- und Fernsehtechnik, Medizintechnik, Maschinen-, Anlagen- und Fahrzeugbau, Konsumgüterbereich, Wohnungs- und Industriebau, Landwirtschaft, Chemie, Schiffbau und weiteren Einsatzgebieten mit hochveredelten Verarbeitungsstufen die Erfüllung der Aufgaben in Gegenwart und Zukunft mit hochwertigen Erzeugnissen und qualitätsgerechten Leistungen.

Aktive Hybridtechnik

Zum Sortiment gehören:

Präzisionsschaltkreise

in hermetisch dichten Gehäusen für die Mikrorechner-Peripherie, die unentbehrlich sind bei der Lösung der modernen Steuer- und Regelungsprobleme. Mit den Hybridschaltkreisen aus dem Angebot DA-Wandler 12 bit, AD-Wandler 12 bit, driftarmer Instrumentationsverstärker und Trennverstärker wird dieses Sortiment vervollständigt.

Hybridschaltkreise für die Medizintechnik,

z.B. Herzschrittmacher und Hörhilfen, garantieren durch aufwendige Vorselektion der Einbaukomponenten unter Einsatz modernster Technologien und umfangreiche Qualitätssicherungsmaßnahmen eine hohe Zuverlässigkeit.

Hybridschaltkreise für die Automobiltechnik

Nach bewährten Dickschichttechnologien werden Erzeugnisse, wie

— Drehstrom-Lichtmaschinenregler
— Blinklichtgeber
— Elektronische Batteriezündanlagen

hergestellt. Diese Erzeugnisse besitzen eine hohe thermische und mechanische Belastbarkeit, verbunden mit einer hohen Zuverlässigkeit.

Hybridschaltkreise für die Nachrichtenelektronik

Für die drahtlose Übertragungstechnik kommt eine umfangreiche Gruppe (4-m-, 2-m- und 70-cm-System) von Hybridschaltkreisen mit eng tolerierten Widerständen und kleinen Temperaturkoeffizienten zur Anwendung, die eine sehr gute Reproduzierbarkeit innerhalb der Gerätesysteme gewährleisten.

Bild 2. Vollkern-Langstab-Isolator, im Hintergrund Abspann- und Tragmast einer mit Vollkern-Langstab- Isolatoren bestückten 380-kV-Leitung ▶

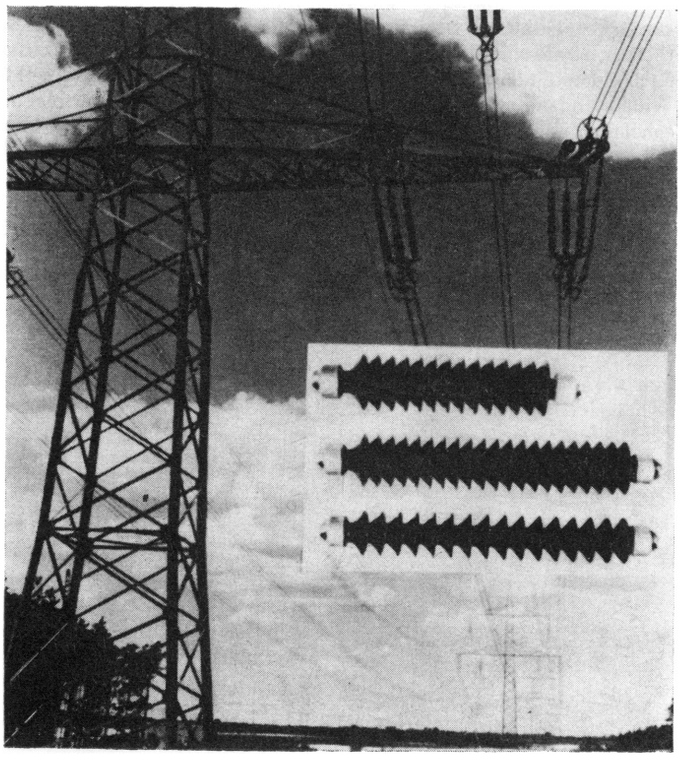


Bild 1. Sortiment von Bauteilen aus Ferritmaterialien

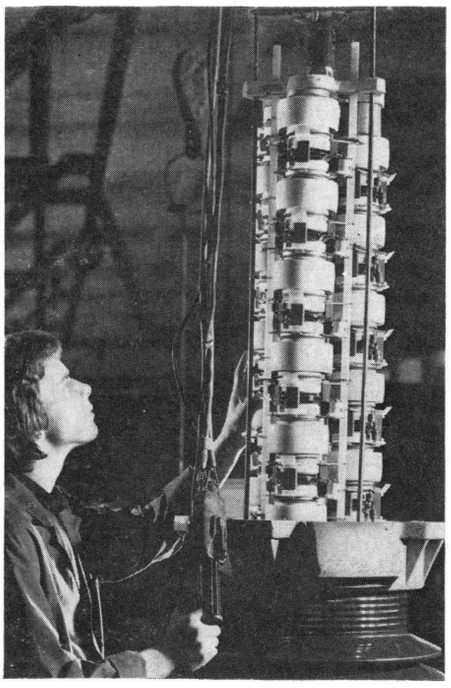


Bild 3
Montage von Hochspannungsableitern

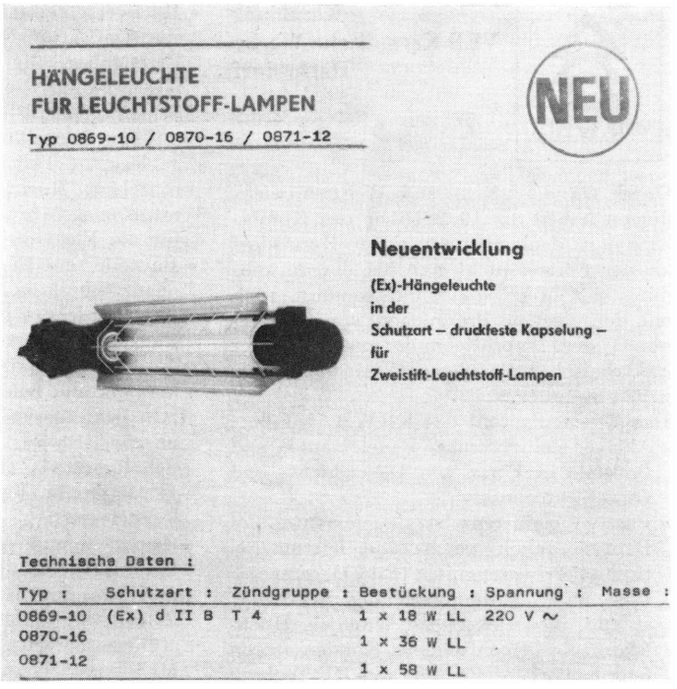


Bild 4 ▶
Neuentwickelte explosionsgeschützte Hängeleuchte in der Schutzart druckfeste Kapselung für Zweistift-Leuchtstoff-Lampen

Für die drahtgebundene Übertragungstechnik (PCM) stehen Hybridschaltkreise der Systeme 30 und 120 zur Verfügung. Wir garantieren bei diesen Systemen die Einhaltung der CCITT-Empfehlungen.

Hybridschaltkreise für Rundfunk und Fernsehen

Gleichstromgekoppelte 2- und 3stufige Breitbandverstärker für die Fernsehempfangs- als auch Hochfrequenz-Meßtechnik im Frequenzbereich 40 bis 800 Hz mit einer Leistungsverstärkung von 14 bzw. 23 dB ordnen sich darunter ein.

Integrierte Widerstandsnetzwerke in Dünn- und Dickfilmtechnik

Das Sortiment umfaßt etwa 400 Widerstandsnetzwerke in Dünn- und Dickfilmtechnik sowie viele Typen von Präzisionsflachwiderständen. Zum Sortiment der Widerstandsnetzwerke gehören symmetrische und unsymmetrische Dämpfungsglieder und lineare bzw. logarithmische Spannungsteiler. Durch Nutzung sehr geringer Relativtoleranzen ergeben sich für den Anwender wesentliche Vorteile (Bild 7).

Konsumgüter

Stereo-Kopfhörer DHK 8

Neu in unserem Angebot ist ein leicht zu tragender Stereo-Kopfhörer mit hervorragenden Leistungsparametern. Die Integration des bewährten dynamischen Systems garantiert ein sauberes, gut abgestimmtes Klangbild mit kleinstem Klirrfaktor. Die niederohmige Ausführung reagiert auf kleinste Ansteuerungsspannungen; der Anschluß von Geräten nach Europanorm ist dabei gegeben.

Piezosummer

Der Piezosummer ist in verschiedenen technischen Ausführungen erhältlich. Der Einsatz der elektroakustischen Schallwandler kann universell für Gleich- und Wechselspannung erfolgen. Durch das Umgehen bewegter Teile in der konstruktiven Ausführung ist eine lange Lebensdauer gegeben.

Passive Bauelemente

Manifer

als weichmagnetische Ferrite mit

- günstiger Anfangspermeabilität
- niedrigem relativen Verlustfaktor
- geringen relativen Temperaturkoeffizienten

in einer großen Auswahl, darunter

Schalen-, RM-, E- und U-Kerne	für die Nachrichtentechnik bei der Leistungsübertragung als Schaltnetzteile und für Zeilentransformation
Jochringe	für Ablenkeinheiten
Ringkerne	für Breitbandübertragung und Entstördrosseln
Antennenstäbe	für Rundfunkempfänger
Zylinderkerne	für Hochfrequenzspulen

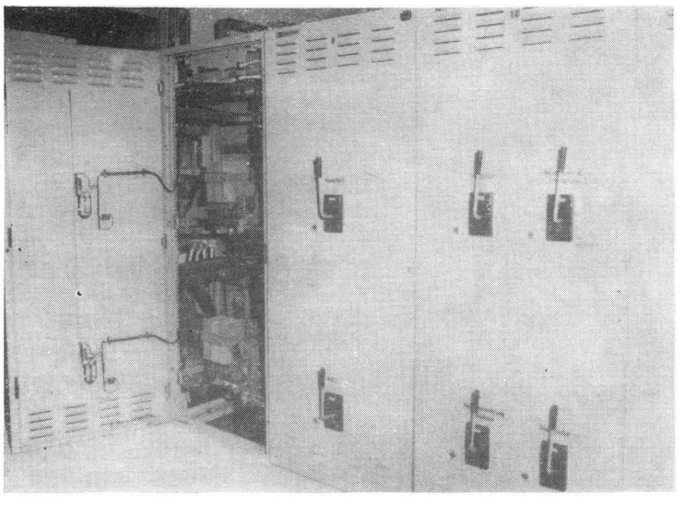


Bild 5
Niederspannungsverteilerkasten vom VEB ESG Grimma

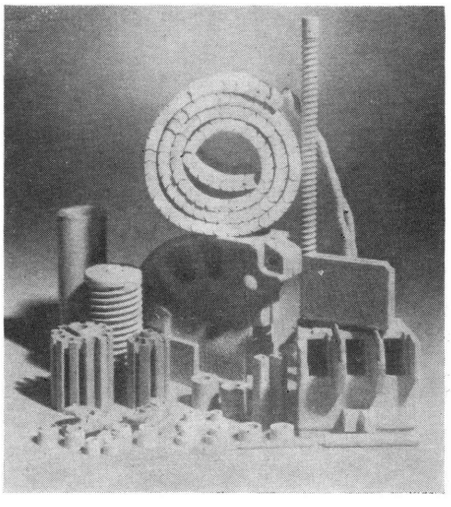


Bild 6. ▶
Isolierteile für Elektrowärmegeräte, Schalt- und Beleuchtungsgeräte

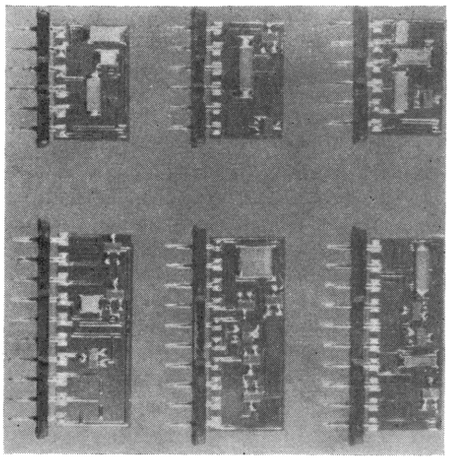


Bild 7. Widerstands-Netzwerke
Fotos: Werkfoto

Maniperm

als hartmagnetische Ferrite mit

- optimierter Remanenzinduktion bzw. Koerzitivfeldstärke
- günstigen maximalen Energieeinsatz
- einer angebrachten Auswahl als

Motorringe, -systeme	für Motoren kleiner und mittlerer Leistungen
Profilmagnete	für Roboterantriebe
Lautsprecher-systeme	für Unterhaltungs-elektronik

Hochleistungs (HL)-Kondensatoren aus keramischen Sinterwerkstoffen

Miniatur-HL-Kondensatoren (MHLK) sind Neuentwicklungen in Form von Scheiben in ausreichenden Typensortimenten aus speziell entwickelten keramischen Werkstoffen. Die MHL-Kondensatoren mit Wulstrand sind Festkondensatoren mit geringer Kapazitätstoleranz. Sie zeichnen sich durch hohe Spannungs- und Strombelastbarkeit aus. Der Einsatz von HL-Kondensatoren erfolgt vorwiegend in stationären und mobilen Sendern der Rundfunk-, Televisions- und Nachrichtentechnik und in elektromedizinisch-wissenschaftlichen Geräten.

PTC-Thermistoren (Kaltleiter)

Kaltleiter sind Bauelemente (elektrische Widerstände) aus dotierter polykristalliner Titanatkeramik. Kaltleiter haben in einem bestimmten Temperaturbereich einen sehr großen positiven Temperaturkoeffizienten des elektrischen Widerstandes, der in der Größenordnung von 7 bis 70°C liegt.
In der Formgebung unterscheiden wir scheiben- und perlförmige Ausführungen. Die Anwendung von PTC-Widerständen erfolgt vorwiegend in der Regelungstechnik zum Schutz vor thermischen Überlastungen, insbesondere bei Elektromotoren und zur Niveauregelung.

Metalloxid-Varistoren (ZnO-Varistoren)

Varistoren sind nichtlineare spannungsabhängige Widerstände mit symmetrischer U/I-Kennlinie, deren Widerstandswert mit steigender Spannung abnimmt.
Die Anwendung von ZnO-Varistoren erfolgt zum Schutz von spannungsempfindlichen Bauteilen von inneren und äußeren Überspannungen. Dem Anwender steht ein umfangreiches Typensortiment zur Auswahl.

W. Scherreicks, Hermsdorf EA 1890

ZEITSCHRIFTEN

Dämpfungskoeffizienten von Synchrongeneratoren in elektroenergetischen Systemen

Litkens, I. V.; Pugo V. T.; Abdul-Sade: Električestvo (1984) 3, S. 8–13

Die dämpfenden Eigenschaften von elektroenergetischen Systemen auf Pendelungen der Regimeparameter verschlechtern sich bei den modernen Tendenzen der Systementwicklung. In einer Reihe von Systemen hat man deshalb mit schlecht zu dämpfenden Pendelungen zu kämpfen.
Für die Durchführung einer großen Anzahl von Übergangsprozeß-Berechnungen wird mit vereinfacht dargestellten Dämpfungsfaktoren eine Verkleinerung des mathematischen Modells und damit eine Verkürzung der Rechenzeit erreicht. Den Hauptanteil an der Dämpfung hat im allgemeinen die asynchrone Komponente des elektromagnetischen Moments der Generatoren, insbesondere, wenn sie mit optimal strukturell ausgewählten und eingestellten PD-Reglern ausgerüstet sind.
Die Untersuchungen ergaben, daß die Dämpfungskoeffizienten funktionell von der Form der elektromechanischen Pendelungen, vom System und vom Regime abhängen. Sie sollen für die dominierende Pendelfrequenz, deren Pendelamplitude die der anderen übersteigt, bestimmt werden. Außerdem konnte ermittelt werden, daß die Dämpfungskoeffizienten der Generatoren sich in einem großen Bereich bewegen können in Abhängigkeit vom Typ des Spannungsreglers, von den Generatorparametern und vom elektroenergetischen System. Es wurden bedeutsame Abweichungen zu den im allgemeinen für Berechnungen von elektromechanischen Übergangsprozessen verwandten Dämpfungskoeffizienten ermittelt.

E. Broßmann, Berlin EA 1778

Erfahrungen mit den 750-kV-Leitungen

Šerenzin, A. N.: Električestvo (1984) 8, S. 75 und 76

Die Einführung der 750-kV-Spannungsebene mit der Leitung Donbass–Dnepr im Jahre 1974 war durch die seit 1967 in Betrieb befindliche Versuchsleitung Konakowo–Moskau sehr gut vorbereitet und technisch erschlossen worden. Anfang 1981 hatten die 750-kV-Leitungen schon eine Gesamtlänge von 3000 km.
Die 750-kV-Leitungen im Energiesystem Süden der UdSSR werden heute mit 200 bis 420 MW stark unterbelastet betrieben. Dies entspricht nur 10 bis 20% der Nennleistung dieser Leitungen. Jener Sachverhalt führt außer der Verlängerung der Amortisationszeit zu einem überproportionalen Anwachsen der Koronaverluste im Vergleich zu den thermischen Stromflußverlusten. Die Koronaverluste liegen um Größenordnungen höher als letztere. Bei feuchtem Wetter wurde auf der 750-kV-Leitung Donbass–Dnepr auf einer Länge von 334 km eine Koronaverlustleistung von 300 MW über einen längeren Zeitraum gemessen. Die 750-kV-Leitung Leningrad–Moskau, die für eine um 25% kleinere Durchlaßfähigkeit im Vergleich mit den o.g. Leitungen ausgelegt ist, erreicht mit einer mittleren Belastung von 900 MW dagegen einen guten Auslastungsgrad.
Heute sind in den 750-kV-Netzen nur 70% der projektmäßig vorgesehenen Drosselspulen installiert. Dieses Mißverhältnis kann nur als Übergangslösung angesehen werden und muß im Interesse einer qualitätsgerechten Regimeführung abgebaut werden. Außerdem sollte prinzipiell in jedem Umspannwerk ein Drosselreservepol aufgestellt werden. Die Einspeisung weiterer leistungsstarker Kernkraftwerke direkt in das 750-kV-Netz baut die unökonomische Unterlastung der Leitungen im Energiesystem Süd weiter ab.

E. Broßmann, Berlin EA 1825

Mathematisches Modell elektroenergetischer Systeme für Untersuchungen der statischen Stabilität

Stroev V. A.: Električestvo (1984) 10, S. 1–7

Die Untersuchungen der statischen Stabilität moderner Elektroenergiesysteme werden in zwei relativ selbständige Unteraufgaben unterteilt: 1. Analyse der aperiodischen statischen Stabilität und 2. Analyse der periodischen statischenStabilität, die sich in Form von Selbstaufschaukelung bzw. Langzeitpendelungen der Generatoren äußert. Für die erste Unteraufgabe gibt es eine Reihe effektiver Rechenprogramme. Für die zweite Aufgabe, womit sich der Artikel beschäftigt, muß das dafür erstellte mathematische Modell die elektromechanischen und elektromagnetischen Prozesse sowie die automatische Regelung, insbesondere die Spannungsregler der Generatoren, korrekt beschreiben. Letztere haben den hauptsächlichen Einfluß auf die Gewährleistung der statischen Stabilität in Elektroenergiesystemen.
Das erhaltene mathematische Modell eines geregelten Elektroenergiesystems auf der Grundlage der Parkschen Gleichungen hat eine einfache Struktur, unabhängig von der Einführung oder Nichteinführung eines starren Netzpunktes. Mit Hilfe der Unterteilung aller Zeitkonstanten in große und kleine kann das mathematische Modell in zwei kleinere Untersysteme aufgespalten werden. Erstens in das System der schnell ablaufenden Prozesse, womit man die hochfrequenten Selbsterregungsprozesse erfaßt, und zweitens das Gleichungssystem der langsamer ablaufenden Prozesse, das die elektromechanischen Übergangsprozesse beschreibt. Im Untersystem der langsamen Prozesse werden die schnellen elektromagnetischen Prozesse in den statischen Elementen der Elektroenergiesysteme vernachlässigt. Mit beiden Untersystemen können die entsprechenden Prozesse im Elektroenergiesystem mit der notwendigen Genauigkeit untersucht werden.

E. Broßmann, Berlin EA 1878

BUCHER

Elektromagnetische Verträglichkeit Störbeeinflussungen in Automatisierungsgeräten und -anlagen

Reihe Automatisierungstechnik, Band 212

Von *E. Habiger*. Berlin: VEB Verlag Technik 1984. 1. Auflage. 80 Seiten, 58 Bilder, 16 Tafeln. Broschur 4,80 Mark. Bestell-Nr. 553 4743

Bedingt durch die zunehmende Einsatzbreite mikroelektronischer Gerätesysteme mit der damit verbundenen Reduzierung der Signalleistungen sowie durch die Tendenz, die Grenzleistungen von Stelleinrichtungen zu erhöhen, stehen sich (neuerdings ggf. auch auf engstem Raum) Komponenten gegenüber, mit denen störschutztechnisch ein Leistungsverhältnis bis zu 10^{21} beherrscht werden muß. Da das technische Niveau von Automatisierungsanlagen entscheidend von einem Systemkonzept bestimmt wird, das auch Fehler infolge von unvermeidbaren Störbeeinflussungen ausschließt, ist zwingend die Notwendigkeit gegeben, auf wirtschaftliche Weise eine „Elektromagnetische Verträglichkeit" (EMV) mit einer solchen Umgebung zu erreichen. Zu diesem objektiven Erfordernis leistet der neue Band in der bewährten Reihe Automatisierungstechnik einen wichtigen Beitrag. Mit der für den Autor typischen klaren und systematischen Ausdrucksweise, die durch zahlreiche instruktive Darstellungen unterstützt wird, erhält der Leser in komprimierter, aber anwendungsorientierter Form sowohl theoretische Grundlagen als auch gesicherte praktische Erfahrungen zum Thema angeboten.

Einer Einführung zu begrifflichen und anderen Grundlagen folgt eine Beschreibung der Störquellen und der ihnen zugeordneten Störgrößen. Daran schließen sich Abschnitte an, die die Widerstandsfähigkeit von elektronischen Systemen gegenüber derartigen Beanspruchungen (Stör- und Zerstörfestigkeit) behandeln sowie ausführlich die verschiedensten Beeinflussungsmechanismen (galvanisch, kapazitiv, induktiv, Beeinflussung durch elektromagnetische Wellen auf Leitungen, durch Strahlung, bei Reflexion) erläutern. Folgerichtig befaßt sich das nächste Kapitel mit den physikalischen Maßnahmen gegen die Beeinflussung, wobei alle wichtigen Komponenten einer Automatisierungsanlage (Informationsverarbeitung, Stromversorgung, Bezugsleitersystem, Datenübertragung, Stellglieder u.a.) explizit behandelt werden.

Der Wichtigkeit des Nachweises der erzielten Störfestigkeit (vorzugsweise an Prototypen) trägt ein eigener Abschnitt Rechnung. Die Feststellungen zur „Planung und Abwicklung der EMV-Arbeit" unterstreichen noch einmal die Notwendigkeit, diesbezügliche Leistungen konsequent zu erbringen (beginnend mit der konzeptionellen Phase von Entwicklung und/oder Projektierung, endend bei der Überwachung der Fertigung), da sich nachträglich die „Elektromagnetische Verträglichkeit" nur mit sehr hohem Kostenaufwand in ein vorhandenes System implementieren läßt.

Die Broschüre endet mit Bemerkungen zur Standardisierungsarbeit auf diesem Gebiet sowie mit einem umfangreichen und nützlichen weiterführenden Quellenverzeichnis.

Insgesamt schließen Verlag und Autor mit dieser Publikation eine Lücke auf diesem Gebiet und unterstützen somit die EMV-Qualitätssicherung. Da es sich hierbei um ein auf zahlreiche Fachgebiete übergreifendes „Phänomen" handelt, ist der Leserkreis nicht nur auf Elektrotechniker/Elektroniker (tätig in Entwicklung, Projektierung, Prüfung, Inbetriebnahme u.a.) beschränkt, zumal an Voraussetzungen zum Verständnis lediglich elektrotechnische Grundkenntnisse benötigt werden und zahlreiches, auch für den Anlagenbetreiber wichtiges Zahlenmaterial bereitsteht. Daß zweifellos auch die Nützlichkeit für Studenten an Hoch- und Fachschulen gegeben ist, sei der Vollständigkeit halber erwähnt.

J. Krause, Berlin EA 1883

Automatisierungstechnik — Praxis, Aufgaben, Lösungen

Herausgeber: *J. Breier*. Berlin: VEB Verlag Technik, 1984. 3., durchgesehene Auflage, 380 Seiten, 216 Bilder, 45 Tafeln, Kunstleder, 24.— Mark. Bestell-Nr. 552 8503

In dem nunmehr in der dritten Auflage vorliegenden, gut eingeführten Arbeitsbuch verfolgen die Autoren das Ziel, den Einsatz von Automatisierungseinrichtungen und den Entwurf von Automatisierungsanlagen an praxisorientierten Beispielen darzustellen und damit den Leser zur Lösung kleinerer Rationalisierungsvorhaben zu befähigen. Als theoretisches Fundament zum Studium der Aufgabensammlung wird das im gleichen Verlag erschienene „Lehrbuch der Automatisierungstechnik" zugrunde gelegt.

Der gesamte Stoff ist übersichtlich in fünf Abschnitte gegliedert.

Im ersten werden in gestraffter Form das Begriffssystem sowie die wichtigsten Beschreibungs- und Untersuchungsmethoden der Automatisierungstechnik vermittelt. Anschließend werden im zweiten Abschnitt die analogen Elemente zur Informationsgewinnung, -übertragung, -verarbeitung und -nutzung einschließlich relevanter Aspekte ihrer Auswahl, Bewertung und Dimensionierung behandelt. Die Problematik der Systemzuverlässigkeit wird dabei kurz gestreift. Gegenstand des dritten Abschnitts ist die Bemessung von Regelkreisen mit linearen, analogen, kontinuierlichen, zeitinvarianten Reglern sowie mit Zweipunktreglern. Zur Dimensionierung der Regelkreise wird dabei neben einfachen Reglereinstellmethoden das Frequenzkennlinienverfahren herangezogen. Der vierte Abschnitt ist den Schaltsystemen gewidmet. Nach einer kurzen Einführung in die problemnahe Notierung von Steuerungsaufgaben werden hier die Analyse und Synthese von Kombinationsschaltungen und dann die Beschreibung und der Entwurf sequentieller Schaltsysteme behandelt.

Im fünften und letzten Abschnitt werden schließlich, ausgehend von einer kurzen Übersicht über die einzelnen Projektabwicklungsphasen sechs Projektierungsbeispiele vorgestellt.

Die Stoffdarstellung ist in allen Fällen in hohem Maße praxisorientiert und auf leichte Verständlichkeit zugeschnitten. Sie bewegt sich in beabsichtigter Weise auf einem mittleren theoretischen Niveau und ist daher breiten Nutzerkreisen zugänglich.

Das Arbeitsbuch repräsentiert sich somit in seiner Gesamtheit gesehen, als ein sehr gutes Arbeitsmittel, das Technikern, Ingenieuren, Studenten von Fachschulen und Ingenieurhochschulen aber auch Kadern, die sich im Rahmen von Weiterbildungsveranstaltungen in das Gebiet der Automatisierungstechnik einarbeiten, empfohlen werden kann.

E. Habiger, Dresden EA 1867

Die Prüfung elektrischer Maschinen

Von *W. Nürnberg*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag 1981

Mit dem vorliegenden Fachbuch wird das Ziel verfolgt, eine eingehende Darstellung der Versuche bei der Prüfung elektrischer Maschinen unter besonderer Berücksichtigung ihrer Wirkungsweise vorzulegen.

Im ersten Abschnitt wird die allgemeine Maschinenprüfung behandelt. Die Maschinenprüfung beinhaltet eine Reihe von Untersuchungen, die in gleicher Weise bei den verschiedenen Maschinengattungen wiederkehren. Dazu gehören die Messung des Widerstands, der Isolationsfestigkeit, des Wickelsinns und der Wickelachse, des Leerlauf-, Belastungs- und Kurzschlußversuches sowie des Hochlauf- und Auslaufversuches. Dabei wird durch Angabe von Schaltungsschema und Diagrammen ständig der Bezug zur Prüfung hergestellt. Weiterhin werden die Wirkungsgradbestimmung, die Belastungsverfahren und Belastungsmaschinen vorgestellt.

Als Fortführung kann nun im 2. Abschnitt die besondere Maschinenprüfung angesehen werden, die speziell den Transformatoren, Drehstrom-, Gleichstrom- und Kommutatormaschinen gewidmet ist.

Ausführlich werden unter Vorstellung der einzelnen Energiewandler sowie deren teilweiser Sonderanwendungen die Versuche der Prüfung beschrieben. Das Verständnis bei der Prüfung der einzelnen Maschinengattungen wird durch Diagramme und Ortskurven vertieft.

Im 3. Abschnitt, der den Querfeldmaschinen gewidmet ist, werden ausführlich deren Aufbau, Wirkungsweise und Prüfung beschrieben. Schwerpunkte bilden die Maschine für konstanten Strom (Metadyne), sowie die Verstärkermaschine (Amplidyne).

Der Abschnitt 4 beschäftigt sich speziell mit der Erfassung des magnetischen Kreises unter Benutzung der Hilfsmittel Flußmesser und Hall-Sonde, und im Abschnitt 5 werden in knapper Form die verschiedenen Meßgeräte und Verfahren vorgestellt. Dagegen wurde die Berechnung der Meßkonstanten und die Erweiterung des Meßbereiches sehr ausführlich durchgeführt.

Durch die Anlage des Buches, die verwendeten Schalt- und Formelzeichen (die jedoch nicht immer der TGL entsprechen) sowie der Umgang mit der komplexen Rechnung stellt dieses Buch eine Bereicherung für Ingenieure der Praxis dar.

J. Berg, Velten EA 1858

Кёппе, М.: **Серводвигатель переменного тока**

ELEKTRIE, Берлин 39 (1985) 2, стр. 45—46, 5 рис., 1 табл.

Рассматриваются построение, принцип действия и условия применения серводвигателя переменного тока Е 220 производства народного предприятия завода электродвигателей Эггезин, предназначенного для управления с малыми потерями напряжением однофазных асинхронных двигателей мощностью до 2 кВт.

Köppe, M.: **A.C. Regulating Unit Drive**

ELEKTRIE, Berlin 39 (1985) 2, pp. 45 – 46, 5 Figs., 1 Table

Construction, function and application characteristics of the a.c. regulating unit E 220 of the VEB Elektromotorenwerk Eggesin for the voltage control, poor in losses, of single-phase asynchronous motors in the range up to 2 kW are illustrated.

Мельцер, Ф.: **Трансисторный преобразователь для управления частотой трехфазных асинхронных двигателей**

ELEKTRIE, Берлин 39 (1985) 2, стр. 46—50, 13 рис., 2 табл., 3 уравн., 2 лит.

Дается описание особенных признаков применения исполнительного звена „транзисторный преобразователь" для установки числа оборотов трехфазных асинхронных двигателей. Схемотехнические преимущества транзисторного преобразователя в сочетании с трехфазным осинхронным двигателем дают универсально применяемый многоскоростный трехфазный привод.

Melzer, F.: **Transistor Inverter to the Frequency Control of Three-Phase Asynchronous Motors**

ELEKTRIE, Berlin 39 (1985) 2, pp. 46 – 50, 13 Figs., 2 Tables, 3 Equations, 2 Refs.

The special application characteristics of the regulating component „transistor inverter" for the speed regulation of three-phase asynchronous motors are described. The circuit-technical advantages of the transistor inverter, completed through the advantages of the three-phase asynchronous motors, provide for the speed variable three-phase drive, applicable universally.

Райхе, Х.: **Обеспечение надежности электрических приводов благодаря контролю процессов старения**

ELEKTRIE, Берлин 39 (1985) 2, стр. 50—54, 13 рис., 10 лит.

Из определения возраста важнейших элементов электрической машины как подшипников и обмотки, можно сделать вывод о моменте необходимой замены двигателя в целях избежания неожиданного выхода его из строя. Приводятся способы диагнозирования и даются разъяснения по взаимоотношению между результатом диагноза состояния двигателя и методом проектирования, направленным на достижение расчетного срока службы.

Reiche, H.: **Reliable Electric Drives through Control of the Aging Processes**

ELEKTRIE, Berlin 39 (1985) 2, pp. 50 – 54, 13 Figs., 10 Refs.

By means of the determination of the age of the most important components of an electric machine, e.g. bearing and winding, the right moment for changing the motor may be derived, to prevent unexpected breakdowns. Diagnosis methods are represented and the connection between state diagnosis of the motor and of a projecting method oriented to the reaching of the planned life are illustrated.

Бер, Ф.; Кайтель, Й.; Вернеке, В.; Цинцоль, Й.: **Электронный расцепитель для низковольтных силовых выключателей с новым решением проблемы избирательности**

ELEKTRIE, Берлин 39 (1985) 2, стр. 54—57, 4 рис., 5 лит.

Применение описанного в статьи электронного расцепителя исключает недостатки существующих защитных устройств (как, например, биметаллов, электромагнитных быстродействующих выключателей) и дает как технически так и экономически более выгодные показатели использования. Электронный расцепитель построен на базе двух гибридных схем и защищается собственными патентами.

Beer, F.; Keitel, J.; Wernecke, W.; Czinczoll, J.: **Electronic Release for Low-Voltage Power Switchers with New Solution for the Selectivity Problem**

ELEKTRIE, Berlin 39 (1985) 2, pp. 54 – 57, 4 Figs., 5 Refs.

By means of the electronic release, described in the following, the disadvantages of conventional protective equipments (e.g. bimetals and electromagnetic instantaneous releases) are prevented and both technically and economically more advantageous properties of the value in use are reached. The electronic release is constructed on base of two hybrid circuits and is protected by the authors' own patents [1] to [5].

Гегнер, Л.; Кюнель, М.: **Маленькие значения ступенчатой выдержки времени благодаря применению электронных защитных реле**

ELEKTRIE, Берлин 39 (1985) 2, стр. 57—59, 5 рис., 1 табл., 2 уравн., 2 лит.

Описывается оформление максимальной защиты с выдержкой времени с помощью которой, в зависимисти от места нахождения защитного реле, достигаются значения ступенчатой выдержки времени от 150 до 250 мс.
Указывается на применение многоамперного возбуждения для защитыы от близких коротких замыканий.

Gegner, L.; Kühnel, M.: **Short Grading Times with Electronic Protective Relays**

ELEKTRIE, Berlin 39 (1985) 2, pp. 57 – 59, 5 Figs., 1 Table, 2 Equations, 2 Refs.

The designing of a graded overcurrent time protection with reachable grading times of 150 to 250 mm depending of the location of the protective equipment is illustrated. To the application of the high-current excitation adapted to the protection against local short-circuits is hinted.

Бюхнер, П.: **Моделирование состояний с помощью малых ЭВМ — возможности и пределы для техники электроприводов**

ELEKTRIE, Берлин 39 (1985) 2, стр. 60—63, 6 рис., 3 табл., 7 уравн., 5 лит.

Наблюдаемое в настоящее время быстрое распространение малых цифровых ЭВМ как последствие обеспечивает возможность проведения в значительно возрастающей мере исследований на основе моделирования. На нескольких примерах рассматриваются первый опыт, особенности малых ЭВМ и действующие на сегодняшний день пределы моделирования состояний.

Büchner, P.: **State Simulation with Minicomputers – Possibilities and Boundaries for the Drive Technique**

ELEKTRIE, Berlin 39 (1985) 2, pp. 60 – 63, 6 Figs., 3 Tables, 7 Equations, 5 Refs.

The quick distribution of digital minicomputers observable at present results in the possibility of making simulation studies in a more comprehensive degree. By means of some examples on first experiences, specialties of the minicomputers and boundaries of the state simulation existing this very day is reported.

Фишер, Ф.; Ретцлаф, В.: **Моделирование схем мощной электроники с помощью программируемых миниатюрных ЭВМ, часть 2**

ELEKTRIE, Берлин 39 (1985) 2, стр. 64—67, 3 рис., 6 табл., 6 уравн., 6 лит.

Программируемые карманные калькуляторы, бытовые и персональные компьютеры открывают новые возможности перед цифровым моделированием схем мощной электроники.
Во второй части статьи представляется программа моделирования на языке Бейзик. Результаты могут изображаться в виде осциллограмм.

Fischer, F.; Retzlaff, W.: **Simulation of Circuits of the Powerelectronics by Means of Programmable Microcomputers, Part 2**

ELEKTRIE, Berlin 39 (1985) 2, pp. 64 – 67, 3 Figs., 6 Tables, 6 Equations, 6 Refs.

Programmable calculators as well as home and personnel computers are offering new possibilities of the digital simulation of powerelectronic circuits. In the second part of this contribution a simulation programme in BASIC is represented. The results may be displayed in the form of oscillograms.

Köppe, M.: **Wechselstrom-Stellerantrieb**

ELEKTRIE, Berlin 39 (1985) 2, S. 45 – 46, 5 Bilder, 1 Tafel

Aufbau, Funktion und Einsatzmerkmale des Wechselstromstellers E 220 aus dem VEB Elektromotorenwerk Eggesin für die verlustarme Spannungssteuerung von Einphasen-Asynchronmotoren im Leistungsbereich bis zu 2 kW werden erläutert.

Melzer, F.: **Transistorumrichter zur Frequenzsteuerung von Drehstrom-Asynchronmotoren**

ELEKTRIE, Berlin 39 (1985) 2, S. 46 – 50, 13 Bilder, 2 Tafeln, 3 Gln., 2 Lit.

Die besonderen Anwendungsmerkmale des Stellgliedes „Transistorumrichter" für die Drehzahlstellung von Drehstrom-Asynchronmotoren werden beschrieben. Die schaltungstechnischen Vorzüge des Transistorumrichters komplettiert mit den Vorzügen des Drehstrom-Asynchronmotors ergeben den universell einsetzbaren drehzahlvariablen Drehstromantrieb.

Reiche, H.: **Zuverlässige elektrische Antriebe durch Kontrolle der Alterungsprozesse**

ELEKTRIE, Berlin 39 (1985) 2, S. 50 – 54, 13 Bilder, 10 Lit.

Aus der Bestimmung des Alters der wichtigsten Bauelemente einer elektrischen Maschine, wie Lager und Wicklung, kann der Zeitpunkt abgeleitet werden, zu dem der Motor ausgewechselt werden muß, um unerwartete Ausfälle zu vermeiden. Es werden Diagnoseverfahren angegeben und der Zusammenhang zwischen Zustandsdiagnose am Motor und einer auf das Erreichen der geplanten Lebensdauer ausgerichteten Projektierungsmethode erläutert.

Beer, F.; Keitel, J.; Wernecke, W.; Czinczoll, J.: **Elektronischer Auslöser für Niederspannungs-Leistungsschalter mit neuer Lösung für das Selektivitätsproblem**

ELEKTRIE, Berlin 39 (1985) 2, S. 54 – 57, 4 Bilder, 5 Lit.

Mit dem nachfolgend beschriebenen elektronischen Auslöser werden die Nachteile herkömmlicher Schutzeinrichtungen (wie Bimetalle und elektromagnetische Schnellauslöser) vermieden und sowohl technisch als auch ökonomisch vorteilhaftere Gebrauchswerteigenschaften erreicht. Der elektronische Auslöser ist auf Basis zweier Hybridschaltkreise aufgebaut und durch eigene Patente abgesichert [1] bis [5].

Gegner, L.; Kühnel, M.: **Kurze Staffelzeiten mit elektronischen Schutzrelais**

ELEKTRIE, Berlin 39 (1985) 2, S. 57 – 59, 5 Bilder, 1 Tafel, 2 Gln., 2 Lit.

Die Gestaltung eines gestaffelten Überstromzeitschutzes mit je nach dem Ort des Schutzgerätes erreichbaren Staffelzeiten von 150 bis 250 mm wird erläutert. Auf die Anwendung der Hochstromanregung zum Schutz gegen Nahkurzschlüsse wird hingewiesen.

Büchner, P.: **Zustandssimulation mit Kleinrechnern – Möglichkeiten und Grenzen für die Antriebstechnik**

ELEKTRIE, Berlin 39 (1985) 2, S. 60 – 63, 6 Bilder, 3 Tafeln, 7 Gln., 5 Lit.

Die gegenwärtig beobachtbare rasche Verbreitung digitaler Kleinrechner hat zur Folge, daß in wesentlich breiterem Maße Simulationsuntersuchungen möglich werden. Über erste Erfahrungen, Besonderheiten der Kleinrechner und heute noch gültige Grenzen der Zustandssimulation wird an Hand einiger Beispiele berichtet.

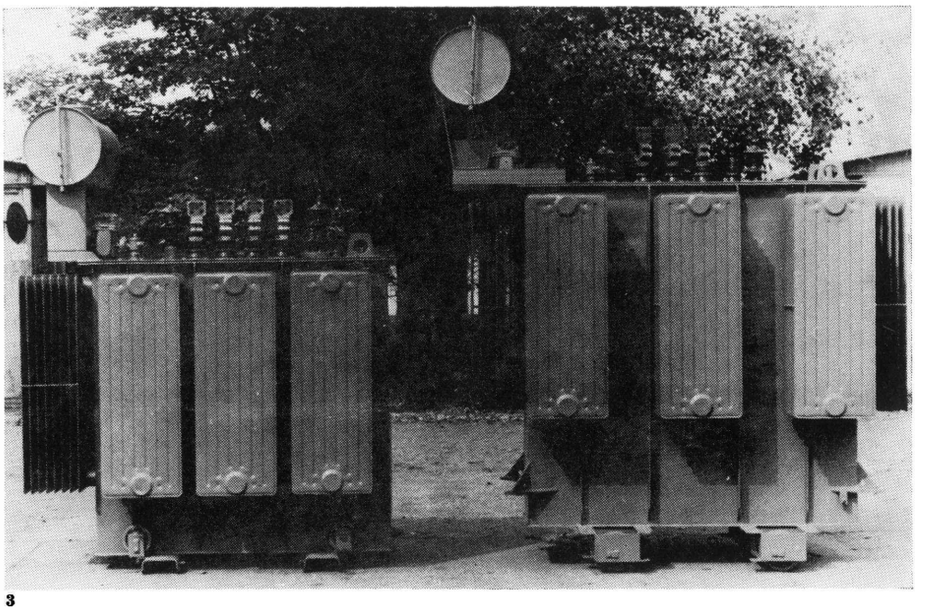
Fischer, F.; Retzlaff, W.: **Simulation von Schaltungen der Leistungselektronik mit Hilfe programmierbarer Kleinstreehner, Teil 2**

ELEKTRIE, Berlin 39 (1985) 2, S. 64 – 67, 3 Bilder, 6 Tafeln, 6 Gln., 6 Lit.

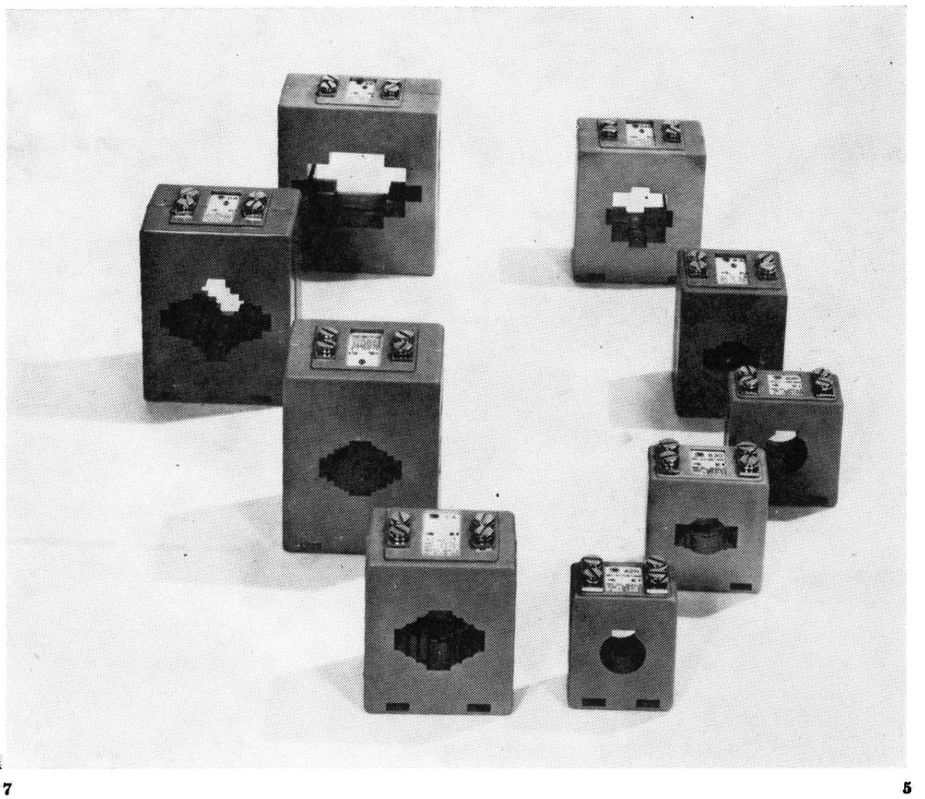
Programmierbare Taschenrechner, Heim- und Personalcomputer eröffnen der digitalen Simulation leistungselektronischer Schaltungen neue Möglichkeiten. Im zweiten Teil des Beitrages wird ein Simulationsprogramm in BASIC vorgestellt. Die Ergebnisse sind in Form von Oszillogrammen darstellbar.

Herausgeber	Kammer der Technik
Verlag	VEB Verlag Technik DDR-1020 Berlin, Oranienburger Str. 13/14, PSF 201 Telegrammadresse: Technikverlag Berlin Telefon: 28700; Telex: 011 2228 techn dd
Verlagsdirektor	Dipl. oec. *Herbert Sandig*
Redaktion	Dr.-Ing. *Klaus Heide*, Verantwortlicher Redakteur (Telefon: 2870345) Dipl.-Ing. *Wolfgang Rönspieß*, Redakteur (Telefon: 2870343)
Typographie	*Ursula Maria Lange* (Telefon: 28 70 287)
Lizenz-Nr.	1100 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der Deutschen Demokratischen Republik
AN (EDV)	6730
Erscheinungsweise	monatlich 1 Heft
Heftpreis	2,50 M, Abonnementpreis vierteljährlich 7,50 M. Auslandspreise sind den Zeitschriftenkatalogen des Außenhandelsbetriebes BUCHEXPORT zu entnehmen.
Gesamtherstellung	III/18/328 Messedruck Leipzig, BT Borsdorf 7122 Borsdorf
Anzeigenannahme	Für Bevölkerungsanzeigen alle Anzeigen-Annahmestellen in der DDR, für Wirtschaftsanzeigen der VEB Verlag Technik, 1020 Berlin, Oranienburger Str. 13/14, PSF 201 Anzeigenpreisliste Nr. 7 Auslandsanzeigen: Interwerbung GmbH, DDR-1157, Berlin, Hermann-Duncker-Str. 89
Erfüllungsort und Gerichtsstand	Berlin-Mitte. Der Verlag behält sich alle Rechte an den von ihm veröffentlichten Aufsätzen und Abbildungen, auch das der Übersetzung in fremde Sprachen, vor. Auszüge, Referate und Besprechungen sind nur mit voller Quellenangabe zulässig.
Bezugsmöglichkeiten	
DDR	sämtliche Postämter
SVR Albanien	Direktorije Quendrore e Perhapjes dhe Propaganditit te Librit Rruga Konference e Pezes, Tirana
VR Bulgarien	Direkzia R. E. P., 11a, Rue Paris, Sofia
VR China	China National Publications Import and Export Corporation, West Europe Department, P.O. Box 88 Beijing
ČSSR	PNS – Ústrédni Expedicia a Dovoz Tisku Praha, Vinohardská 41, 12505 Praha PNS, Ústred na Expedicia Tiače, Gottwaldovo nám. 48, 88419 Bratislava
SFR Jugoslawien	Jugoslovenska Knjiga, Terazije 27, Beograd; Izdavačko Knjižarsko Produzeće MLADOST, Ilica 30, Zagreb
Koreanische DVR	CHULPANMUL Korea Publictions Export & Import Corporation, Pyongyang
Republik Kuba	Empresa de Comercio, Exterior de Publicaciones, O'Reilly No. 407,, Ciudad Habana
VR Polen	C.K.P.i.W. Ruch, Towarowa 28, 00-958 Warszawa
SR Rumänien	Directia Generala a Postei si Difuzarii Presei, Palatul Administrativ, Bucuresti
UdSSR	Städtische Abteilung von Sojuzpečat' oder Postämter und Postkontore
Ungarische VR	P.K.H.I., Külföldi Elöfizetési Ostzály, P.O. Box 16, 1426 Budapest
SR Vietnam	XUNHASABA 32, Hai Ba Trung, Hanoi
BRD und Berlin (West)	ESKABE Kommissions-Grossobuchhandlung, Postfach 36, 8222 Ruhpolding/Obb.; Helios Literatur-Vertriebs-GmbH, Eichborndamm 141 – 167, Berlin (West) 52; Kunst und Wissen Erich Bieber OHG, Postfach 46, 7000 Stuttgart 1; Gebrüder Petermann, BUCH + ZEITUNG INTERNATIONAL, Kurfürstenstraße 111, Berlin (West) 30
Österreich	Helios Literatur-Vertriebs GmbH & Co, KG, Industriestraße B 13, A-2345 Brunn am Gebirge
Schweiz	Verlagsauslieferung Wissenschaft der Freihofer AG, Weinbergstr. 109, 8033 Zürich
Alle anderen Länder	örtlicher Fachbuchhandel BUCHEXPORT Volkseigener Außenhandelsbetrieb der Deutschen Demokratischen Republik, DDR-7010 Leipzig, Postfach 160; und Leipzig Book Service DDR-7010 Leipzig, Talstraße 29

Ausgewählte Exponate des VEB Kombinat Automatisierungsanlagenbau zur Leipziger Frühjahrsmesse 1985



3



7

Mehr dazu finden Sie in unserer Messevorschau auf Seite 70 in diesem Heft.

Bild 2. Industrierobotersteuerung IRS 700 aus dem neuentwickelten System 700

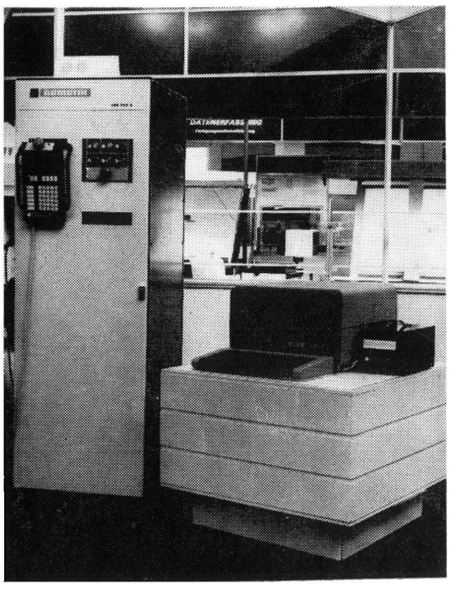
Bild 3. 1600-kVA-Verteilertransformatoren (Vergleich: neu — alt)

Bild 5. Rechnergestützte Leittechnik für Elektroenergieverteilungs- und -übertragungsanlagen

Bild 7. Neue TuR-Kleinwandler

Fotos: Werkfoto

2

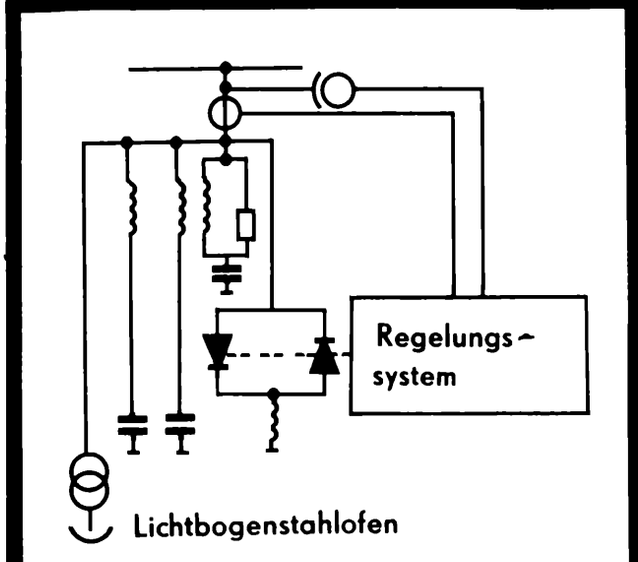


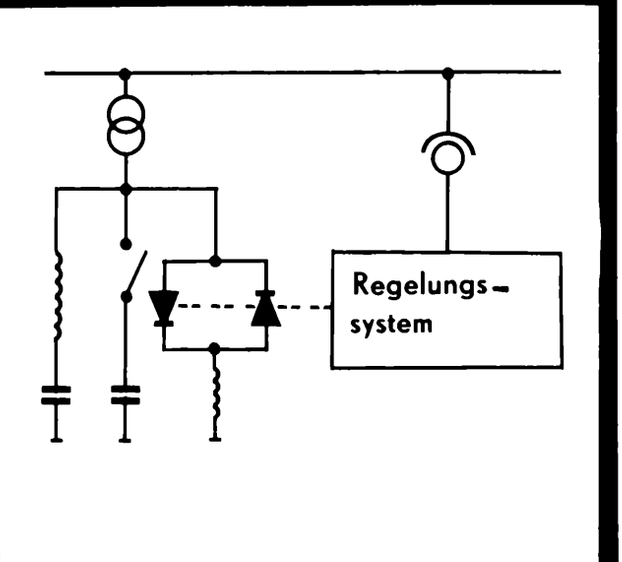
5

ISSN 0013 — 5399
ELEKTRIE · Berlin 39 (1985) 2 · S. 41 — 80

6730 2 177 027 465
KOMB KERAM WERKE
A012 7001 0136 DE

Gibt es bei Ihnen Probleme mit:





– der Bereitstellung an zusätzlicher Blindleistung
– Spannungsschwankungen
– Harmonischen
– dem Flickereffekt
– Belastungsverstimmungen
– schneller Änderung der Blindbelastung,

so lassen sie sich alle durch Verwendung von hochwirtschaftlichen STATISCHEN THYRISTORKOMPENSATOREN lösen.

Hauptanwendungsgebiete:
Energiesysteme; industrielle Stromversorgungsnetze mit stark veränderlichen Stoßbelastungen und nichtlinearen Belastungen – wie dies bei Thyristor geregelten Antrieben der Fall ist –; Stromversorgungsnetze für Walzwerke; Lichtbogenstahlöfen; Elektrolyseanlagen in der Buntmetallurgie, der chemischen Industrie usw.

Exporteur:
V/O ENERGOMACHEXPORT
UdSSR, 127486, Moskau
Deguninskaja Ul. 1, Korp. 4
Telefon: 487-31-82
Telex: 411965 ENEK SU
411926 ENEK SU

ENERGO™
FOREIGN TRADE ASSOCIATION
ENERGOMACHEXPORT
MOSCOW USSR